



**Universidade de  
Aveiro  
2010**

Departamento de Física

**José Eduardo de  
Carvalho Baptista**

**Meteorologia Sinóptica – Estudo de um caso em  
Portugal**



**José Eduardo de  
Carvalho Baptista**

**Meteorologia Sinóptica – Estudo de um caso em  
Portugal**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia e Oceanografia Física, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia, Professor Auxiliar de nomeação definitiva do Departamento de Física da Universidade de Aveiro e da Dra. Maria Paula Ventura Leitão, especialista em meteorologia do Instituto de Meteorologia.

## **o júri**

presidente

**Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha**  
professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

**Doutora Liliana do Carmo Santiago Fernandes Amada Caramelo**  
professora Auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia**  
professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Dr.<sup>a</sup> Maria Paula Ventura Leitão**  
Especialista em Meteorologia. Instituto de Meteorologia

## **agradecimentos**

aos meus orientadores, Professor Doutor Mário Talaia e Dra. Paula Leitão, pelo apoio, orientação e tempo disponibilizados permanentemente ao longo da elaboração da dissertação;

ao Instituto de Meteorologia, em particular à Dra. Clara de Freitas, pela disponibilidade para a obtenção de dados, material essencial para a consecução desta dissertação, bem como pelo usufruto das instalações do Instituto;

aos meus pais, familiares, professores, amigos e membros do Instituto de Meteorologia que de algum modo me apoiaram e contribuíram para a realização desta dissertação.



**palavras-chave**

Meteorologia Sinóptica, frente fria, frente quente, frente oclusa, frente com ondulações, modelos conceptuais, estado do tempo atmosferico

**resumo**

Nesta dissertação é apresentada a análise e a interpretação física do estado do tempo em Portugal Continental e na Madeira, em particular nas cidades de Lisboa, Porto, Faro e Funchal, entre os dias 15 e 18 de Novembro de 2009. A localização e identificação das frentes que condicionaram o estado do tempo são investigadas.

Foram considerados e analisados dados disponibilizados pelo Instituto de Meteorologia e obtidos no site Satrep Online.

Adicionalmente, são analisados parâmetros que contribuíram para a identificação do modelo conceptual que melhor se ajusta e aplica às frentes frias identificadas.

Para facilitar a interpretação e análise de dados são apresentados nesta dissertação os dados que foram disponibilizados.

A dissertação é constituída por uma descrição, fundamentos teóricos, análise de resultados e de modelos conceptuais, considerações finais e perspectivas futuras.

Finalmente, espera-se que esta dissertação possa contribuir para fomentar interesse científico para a análise e compreensão do tempo atmosférico, nomeadamente vigilância e prevenção, por ser uma temática determinante para estratégias de intervenção da Protecção Civil.

**keywords**

Synoptic meteorology, cold front, warm front, occluded front, front with ripples, conceptual models, atmospheric weather

**abstract**

This dissertation presents the analysis and physical interpretation of the weather in Mainland Portugal and Madeira, particularly in the cities of Lisbon, Oporto, Faro and Funchal, between the 15<sup>th</sup> and the 18<sup>th</sup> November 2009.

The location and identification of fronts which conditioned the weather will be investigated.

The data made available by the Institute of Meteorology and obtained from the site Satrep Online was considered and analyzed.

Additionally, we analyzed the parameters which contributed to the identification of the conceptual model that best fits and applies to the identified cold fronts.

To facilitate interpretation and data analysis the data which was available for this dissertation is also presented.

The dissertation consists of a description, theoretical, analysis of results and conceptual models, concluding remarks and future perspectives.

Finally, this dissertation is expected to be able to promote scientific interest for the analysis and understanding of weather, namely watching and prevention, for being a crucial issue for Civil Protection intervention strategies.

## Índice

	Pág.
Índice	1
1. Questão investigativa	2
2. Dados disponibilizados	3
3. Introdução	5
4. Fundamentos teóricos	7
5. Análise de resultados	17
6. Análise de modelos conceptuais	42
7. Considerações finais e perspectivas futuras	45
8. Referências bibliográficas	47
Anexo de Figuras	A-1

## 1. Questão investigativa

Será que é possível compreender, a partir de imagens, campos, tefigramas e modelos, o estado do tempo nas cidades do Porto, Lisboa, Faro e Funchal, entre os dias 15 e 18 de Novembro de 2009?

A resposta a esta questão passa pelos seguintes objectivos intermédios:

- Localizar as frentes próximas, ou que passaram em Portugal Continental e na Madeira de 12 em 12 horas;
- Interpretar as imagens de satélite disponibilizadas;
- Interpretar campos de análise do modelo ECMWF;
- Interpretar tefigramas para as cidades do Porto, Lisboa, Faro e Funchal;
- Relacionar a situação meteorológica observada com o estado do tempo e explicar a configuração de alguns parâmetros atmosféricos observados (temperatura, vento, precipitação, etc...) nas referidas cidades.

Serão também considerados os seguintes objectivos complementares:

- Utilizar os modelos conceptuais de frente fria disponíveis no Manual da página web do Satrep;
- Tentar identificar qual/quais o modelo/modelos que se adequa(m) mais às frentes frias que passam em Portugal Continental e na Madeira.

## 2.Dados disponibilizados

Para a realização desta dissertação foram recolhidos no Instituto de Meteorologia e no site do Satrep Online dados entre as 00h dos dias 15 e 18 de Novembro de 2009. São eles:

- Análises e previsões de 3h em 3h e até 120h do modelo ECMWF (para a Europa Ocidental e Atlântico) às 00h e 12h de cada dia de campos horizontais de:
  - Advecção de temperatura aos 850hPa, entre os 700hPa e 300hPa e entre os 500hPa e 850hPa;
  - Advecção de vorticidade aos 850hPa, entre os 700hPa e os 300hPa e entre os 500hPa e os 850hPa;
  - Índices de estabilidade TT e de Jefferson;
  - Divergência do vector Q entre os 700hPa e 300hPa e entre os 850hPa e 500hPa e pressão média ao nível do mar;
  - Componente normal do vector Q entre os 850hPa e os 500hPa e altura de geopotencial aos 700hPa;
  - Componente normal do vector Q e parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e 500hPa
  - Pressão média ao nível do mar e parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e 500hPa;
  - $\Theta_{sw}$  aos 850hPa e parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e 500hPa;
  - Direcção e intensidade do vento e isotáxicas aos 300hPa;
  - Convergência de humidade específica na baixa troposfera e aos 850hPa;
  - Humidade relativa aos 850hPa e aos 700hPa;
  - Direcção e intensidade do vento e pressão média ao nível do mar;
  - Pressão média ao nível do mar e altura de geopotencial aos 500hPa;
  - Precipitação acumulada em 3h (apenas as previsões);
  - Diferença de temperatura entre os 850hPa e os 500hPa;
  - $\Theta_{sw}$  aos 850hPa e pressão média ao nível do mar;
  - Velocidade vertical  $\omega$  aos 700hPa e 850hPa;
  - Vento, temperatura e altura de geopotencial aos 500hPa, 700hPa e 850hPa.
- Tefigramas às 00h e 12h com base nas análises de modelos do ECMWF para as cidades de Lisboa, Porto, Faro e Funchal;
- Várias Imagens de satélite, algumas delas retiradas do site Satrep Online:
  - RGB\_massas\_de\_ar (00h e 12h de cada dia);
  - RGB\_nuvens\_HRV (12h de cada dia);
  - HRIT\_WV\_062 (00h e 12h de cada dia);
  - HRIT\_IR\_108 (00h e 12h de cada dia, excepto às 12h de dia 16);
  - HRIT\_VIS\_006 (12h de cada dia);
  - DIF\_062\_108 (12h de cada dia e às 00h de dia 18);
  - RGB\_Natural (12h de cada dia);
  - RGB\_micronevoeiro (00h e 12h de cada dia, excepto dia 15).
- Sobreposição de campos horizontais do ECMWF e imagens de satélite retirados do site do Satrep Online às 00h e 12h de cada dia:
  - RGB\_massas\_de\_ar e pressão média ao nível do mar;
  - RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa;
  - RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e advecção de temperatura aos 700hPa;
  - RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e isotáxicas aos 300hPa;

- RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e máximos de advecção de vorticidade positiva aos 300hPa;
- RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e os 500hPa (apenas disponível no dia 16 às 00h e 12h, no dia 17 às 00h e no dia 18 às 00h).
- Observações (SYNOP) às 00h e 12h de cada dia, obtidas nas estações meteorológicas do Instituto de Meteorologia no arquipélago da Madeira e de Portugal Continental. Para o Arquipélago da Madeira o SYNOP é completo, no Continente o SYNOP apenas tem observações de temperatura, temperatura de ponto de orvalho e direcção e intensidade do vento.
- Análises do modelo ECMWF (Península Ibérica) de temperatura à superfície (2m), direcção e intensidade do vento e pressão média ao nível do mar às 00h e 12h de cada dia;
- Valores de rajada máxima do vento, hora e respectivas estações meteorológicas onde as rajadas foram registadas;
- Registos horários de precipitação acumulada em 1h, temperatura, temperatura de ponto de orvalho, pressão média ao nível do mar, direcção e intensidade do vento, de hora a hora e para as cidades de Lisboa, Porto, Funchal e Faro entre as 00h dos dias 15 e 18;
- Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas entre as 00h e as 12h, entre as 12h e as 24h e entre as 00h e as 24h nos dias 15, 16 e 17 de Novembro de 2009, apenas para a zona de Portugal Continental.

De mencionar que, dada a extensão e objectivos desta dissertação, é impossível interpretar e analisar todos os dados disponibilizados. Ainda assim, alguns dos dados recolhidos que não sejam analisados regularmente, poderão ser analisados para ajudar a clarificar ou explicar algum fenómeno ou situação.

### 3.Introdução

Em primeiro lugar será feita uma breve abordagem teórica sobre os dados utilizados para a realização desta dissertação.

Em seguida, será feita uma análise de alguns dos dados retirados, com o principal intuito de analisar e explicar o estado do tempo em Portugal Continental e na Madeira, entre os dias 15 a 18 de Novembro de 2009. Às 00h e 12h de cada dia irão ser desenhadas (à mão) frentes nas imagens:

- RGB\_massas\_de\_ar e pressão média ao nível do mar;
- Pressão média ao nível do mar e vento aos 10m.

De mencionar que, atendendo aos objectivos desta dissertação, serão apenas desenhadas as frentes que estão próximas de Portugal Continental e Madeira e as frentes que por aí passaram (não serão desenhadas todas as frentes existentes nas figuras). As imagens com as frentes desenhadas encontram-se inseridas no texto principal. Por decisão, todas as outras figuras que serviram para a análise estão em anexo.

Serão igualmente analisados alguns dados e imagens (00h, 12h e hora-a-hora), não só com o intuito de explicar a localização das frentes identificadas, mas também de explicar o estado do tempo em Portugal Continental e Madeira. Os dados e imagens analisados encontram-se no ANEXO de FIGURAS e são os seguintes:

- Imagens de satélite:
  - RGB\_massas\_de\_ar (00h e 12h de cada dia);
  - RGB\_nuvens\_HRV (12h de cada dia);
  - HRIT\_WV\_062 (00h e 12h de cada dia);
  - HRIT\_IR\_108 (00h e 12h de cada dia, excepto às 12h de dia 16);
  - HRIT\_VIS\_006 (12h de cada dia);
  - DIF\_062\_108 (12h de cada dia);
  - RGB\_Natural (12h de cada dia e às 00h de dia 18).
- Sobreposição do campo horizontal de pressão média ao nível do mar com a imagem de satélite de RGB\_massas\_de\_ar (obtidos no site do Satrep Online), às 00h e 12h de cada dia;
- Tefigramas para as cidades de Lisboa, Porto, Faro e Funchal às 00h e 12h de cada dia;
- Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas entre as 00h e as 12h e as 12h e as 24h de cada dia para Portugal Continental;
- Campo horizontal de pressão média ao nível do mar e vento aos 10m (análises do modelo ECMWF para a Península Ibérica às 00h e 12h de cada dia);
- Observações de superfície (SYNOP) registadas nas estações meteorológicas de Portugal Continental e Madeira às 00h e 12h de cada dia;
- Campos horizontais (análises do modelo ECMWF para a Europa Ocidental e Atlântico às 00h e 12h de cada dia) de:
  - Pressão média ao nível do mar e vento aos 10m;
  - Altura de geopotencial, vento e temperatura aos 500hPa às 00h e 12h;
  - Advecção de temperatura aos 850hPa às 00h e 12h;
  - $\Theta_{sw}$  aos 850hPa e pressão média ao nível do mar às 00h e 12h;
  - Velocidades verticais  $\omega$  aos 700hPa às 00h e 12h.
- Análise dos registos horários do valor de precipitação acumulada em 1h, valores de temperatura, temperatura de ponto de orvalho, pressão média ao nível do mar, direcção e intensidade do vento nas cidades de Lisboa, Porto, Faro e Funchal.

Sempre que seja necessário para ajudar a explicar ou interpretar algum fenómeno ou observação, é possível recorrer a outros dados disponíveis, que estão no ANEXO de FIGURAS.

Após a análise de dados, tentar-se-á atribuir o modelo conceptual (dos apresentados no Manual do Satrep) que se adequa(m) à(s) frente(s) fria(s) que estão próximas ou que passaram por

Portugal Continental e Madeira, às 00h e 12h de cada dia (não serão atribuídos modelos conceptuais às outras frentes e formações nebulosas identificadas). Para isso, serão analisados alguns campos horizontais (retirados do site Satrep Online) com a(s) frente(s) fria(s) desenhada(s). São eles:

- RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa;
- RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e advecção de temperatura aos 700hPa;
- RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e isotáxicas aos 300hPa;
- RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e máximos de advecção de vorticidade positiva aos 300hPa;
- RGB\_massas\_de\_ar, pressão média ao nível do mar e parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e os 500hPa (apenas disponível no dia 16 às 00h e 12h, no dia 17 às 00h e no dia 18 às 00h).

Por último, a dissertação apresenta algumas considerações finais e aponta algumas perspectivas futuras.



## 4. Fundamentos teóricos

### *Frentes e Modelos Conceptuais*

Para a realização desta dissertação considerou-se oportuno apresentar algumas definições de fenómenos e variáveis utilizados na análise de dados (Ahrens, 2007; Stull, 2000, Martín-Vide, 2005).

**Frente fria:** consiste numa zona de transição entre ar frio e seco e ar quente e húmido, sendo que o ar frio se desloca em direcção ao ar quente. Essa zona de separação entre ar frio e quente (frente) existe à superfície e em altitude. Simbolicamente representa-se por triângulos azuis cheios que apontam em direcção ao ar quente. A passagem e identificação de uma frente fria são acompanhadas por mudanças não só na temperatura do ar, mas também de outras variáveis atmosféricas que ajudam por isso, a identificar a sua passagem num local. Desta forma, os parâmetros atmosféricos que permitem identificar a passagem de uma frente fria num local são:

- Diminuição brusca da temperatura do ar após a passagem da frente;
- Diminuição brusca do conteúdo de vapor de água na atmosfera que se reflecte numa diminuição brusca do valor da temperatura de ponto de orvalho após a passagem da frente;
- Diminuição ligeira da pressão atmosférica antes da passagem da frente, mínimo de pressão à passagem da frente e aumento brusco após a passagem da frente;
- Mudança da direcção dominante do vento após a passagem da frente: geralmente de sudoeste para noroeste;
- Ocorrência de precipitação, em geral sob a forma de aguaceiros (que pode ser máxima antes ou após a passagem da frente).

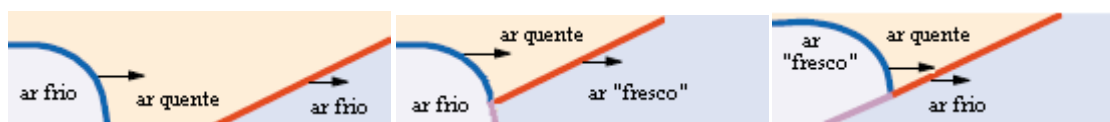
**Frente quente:** consiste numa zona de transição entre ar frio e seco e ar quente e húmido, sendo que o ar quente se desloca em direcção ao ar frio. A zona de separação entre ar frio e quente (frente) existe à superfície e em altitude. Simbolicamente representa-se por semi-círculos vermelhos cheios que apontam em direcção ao ar frio. A passagem e identificação de uma frente quente são acompanhadas por mudanças não só na temperatura do ar, mas também de outras variáveis atmosféricas que ajudam a identificar a sua passagem num local. Deste modo, os parâmetros atmosféricos que permitem identificar a passagem de uma frente quente num local são:

- Aumento brusco da temperatura do ar após a passagem da frente;
- Aumento brusco do conteúdo de vapor de água na atmosfera que se reflecte num aumento brusco do valor da temperatura de ponto de orvalho após a passagem da frente;
- Diminuição brusca da pressão atmosférica antes da passagem da frente, mínimo de pressão à passagem da frente e aumento ligeiro após a passagem da frente;
- Mudança da direcção dominante do vento após a passagem da frente: geralmente de sudeste para sudoeste;
- Ocorrência de precipitação, em geral de forma contínua e antes da passagem da frente.

**Frente oclusa:** as frentes oclusas (ou oclusões) formam-se quando uma frente fria alcança uma frente quente. Por isso consistem em zonas de transição de ar frio. Se o ar que precede a frente oclusa é ligeiramente mais quente (“ar fresco”) que o ar que a sucede, a oclusão tem a designação de oclusão fria; se o ar que precede a oclusão é ligeiramente mais frio que o ar que a sucede, a oclusão tem a designação de oclusão quente. Simbolicamente, as oclusões são representadas por semi-círculos e triângulos alternados (a roxo ou cor-de-rosa), sendo que estes apontam na direcção para onde a oclusão se desloca. Tal como acontece com as frentes frias e quentes, a passagem e identificação de uma frente oclusa são acompanhadas por mudanças de algumas variáveis atmosféricas que ajudam a identificar a sua passagem num local. Assim, os parâmetros atmosféricos que permitem identificar a passagem de uma frente oclusa num local são:

- Aumento ligeiro da temperatura no caso de uma oclusão quente e diminuição ligeira no caso de uma oclusão fria, após a sua passagem;
- Aumento ligeiro do conteúdo de vapor de água no caso de uma oclusão quente e diminuição ligeira no caso de uma oclusão fria, após a sua passagem;
- Diminuição ligeira da pressão atmosférica antes da passagem da oclusão (fria ou quente) e aumento ligeiro após a sua passagem;
- Mudança da direcção dominante do vento após a passagem da oclusão (quente ou fria): de sudeste, sul ou sudoeste para oeste ou noroeste;
- Ocorrência de precipitação, em geral de forma contínua, antes da passagem da oclusão (quente ou fria) e sob a forma de aguaceiros durante e logo após a sua passagem.

Como já mencionado, as frentes não só aparecem em superfície como também em altitude. Assim, a análise de variáveis atmosféricas em altitude pode também ser bastante útil para ajudar a identificar frentes. Tipicamente as superfícies frontais quentes apresentam declive pouco acentuado, sendo que a substituição de ar frio por ar quente ocorre inicialmente no topo da troposfera e no fim à superfície. Nas superfícies frontais frias, o declive é geralmente bastante acentuado, sendo que a substituição do ar quente por ar frio ocorre, em geral, primeiro junto ao solo e depois em altitude. As superfícies frontais oclusas apresentam geralmente declive menos acentuado quando são oclusões frias e declive mais acentuado quando são oclusões quentes. A Figura 1 esquematiza o que acabou de ser referido.



**Fig. 1:** Representação de superfícies frontais fria e quente, superfície frontal oclusa fria e superfície frontal oclusa quente (secções verticais) (adaptado de Ahrens, 1999)

Um dos objectivos desta dissertação é atribuir um modelo conceptual, com base no manual do Satrep, à(s) frente(s) fria(s) que se encontrem perto ou que passaram por Portugal Continental e na Madeira.

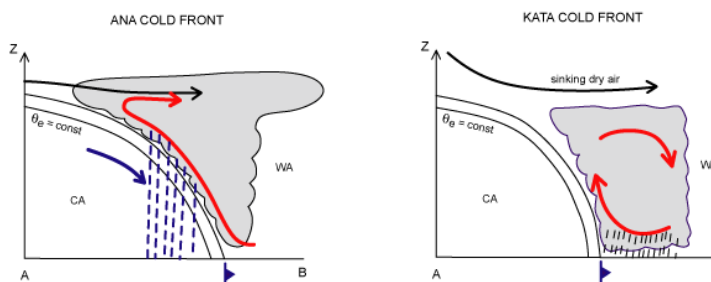
Um modelo conceptual é definido como um modelo que descreve as características essenciais de um fenómeno meteorológico e identifica os principais processos físicos que envolvem esse fenómeno (<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>). A informação das imagens de satélite, de campos horizontais e secções verticais de variáveis atmosféricas são ferramentas bastante úteis para identificar e distinguir diferentes modelos conceptuais. Os modelos conceptuais são bastante importantes para os meteorologistas, pois ajudam na compreensão e diagnóstico de fenómenos meteorológicos bem como na previsão de tempo a muito curto prazo (nowcasting).

O manual do Satrep mostra que as frentes frias podem ainda ser sub-dividas em cinco modelos conceptuais (excluindo as frentes árticas):

- Frente fria anabática;
- Frente fria catabática;
- Frente fria dividida;
- Frente fria em advecção fria;
- Frente fria em advecção quente.

Muito resumidamente, as diferenças entre os três primeiros casos devem-se à orientação da corrente de jacto em altitude em relação à nebulosidade associada à frente. No primeiro caso, a corrente de jacto, que se encontra na transição entre o ar quente e frio em altitude, é paralela à nebulosidade associada à frente, o que permite que o ar quente suba ao longo da superfície frontal. Deste modo as zonas de maior nebulosidade e precipitação encontram-se essencialmente após a passagem da frente em superfície. No caso das frentes frias catabáticas a corrente de jacto atravessa, com um ângulo agudo a zona de nebulosidade associada à frente. Como o ar transportado pela corrente de jacto é seco e muito frio (por vezes proveniente da estratosfera) tende

a descer ligeiramente. Esta descida de ar evita a subida de ar quente ao longo da superfície frontal e dissipa a nebulosidade alta (*cirrus*). Isto faz com que as frentes frias catabáticas tenham pouca nebulosidade alta e que as zonas de maior nebulosidade/precipitação se situem antes da passagem da frente. A penetração de ar muito frio em altitude (com ar quente por baixo) tem ainda o efeito de desestabilizar a atmosfera, pelo que em geral, as frentes frias catabáticas são mais favoráveis à ocorrência de trovoadas e precipitação sob a forma de aguaceiros (mais instáveis) do que as frentes frias anabáticas. A Figura 2 ilustra esquematicamente as diferenças entre estes dois casos.



**Fig. 2:** Esquema de frentes frias anabáticas e catabáticas.

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/Cf/images/kfcosk01k.gif>

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/Cf/images/kfcosk03k.gif>

As frentes divididas podem ser vistas como desenvolvimentos das frentes frias catabáticas, uma vez que a corrente de jacto também atravessa a zona nebulosa. A diferença em relação às frentes catabáticas é que neste caso a corrente de jacto atravessa a zona nebulosa com um ângulo aproximadamente recto. Este facto contribui para dissipar alguma da nebulosidade alta. No entanto, a corrente de jacto “empurra” a parte mais dianteira da nebulosidade alta ainda mais para a frente do local onde se encontra a frente fria. Como resultado, a nebulosidade alta associada a este tipo de frentes está bastante à frente da nebulosidade mais baixa. A presença de nuvens altas marca a presença da frente fria em altitude, embora aí os contrastes sejam essencialmente a nível de humidade, pois são pouco evidentes a nível de temperatura. Também neste tipo de frentes, a nebulosidade e precipitação ocorrem essencialmente antes da passagem da frente, sendo que, tal como nas frentes catabáticas também esta zona é muito instável pelo facto de o ar frio se sobrepor ao ar quente em superfície. A zona de transição entre nuvens altas e baixas, antes da passagem da frente, é a mais instável e onde em geral ocorre mais precipitação. A frente fria em altitude é representada por triângulos azuis vazios que apontam em direcção ao ar quente.

A diminuição da espessura equivalente, os máximos de parâmetro frontal térmico e zonas de advecção fria associados à passagem de uma frente fria aparecem após a passagem da frente fria em superfície. Nas frentes frias anabáticas aparecem (a diminuição de espessura equivalente, os máximos de parâmetro frontal térmico e as zonas de advecção fria) em zonas onde há nebulosidade, pois a nebulosidade associada a estas frentes localiza-se também após a passagem da frente, ao passo que nas frentes catabáticas e divididas aparecem “atrás” da nebulosidade associada às frentes pois a nebulosidade associada a esse tipo de frentes aparece antes da passagem da frente em superfície. Máximos de advecção de vorticidade positiva estão associados à corrente de jacto. Nas frentes anabáticas, como a corrente de jacto não atravessa a nebulosidade associada à frente, os máximos de advecção de vorticidade positiva aparecem “atrás” dessa nebulosidade. Nas frentes frias catabáticas e divididas a corrente de jacto atravessa a zona de nebulosidade associada às frentes, pelo que os máximos de advecção de vorticidade positiva aparecem sobre as zonas de nebulosidade. Assim sendo, a espessura equivalente, o parâmetro frontal térmico, a localização de zonas de advecção fria, quente e de máximos de advecção de vorticidade positiva são, além da posição da corrente de jacto, parâmetros-chave para ajudar a distinguir tipos de frente fria.

Nas três frentes até aqui mencionadas todas elas têm em comum o facto de ocorrer advecção (de temperatura) quente em altitude e junto ao solo antes da passagem da frente e advecção fria após a passagem da frente. Este aspecto constitui a principal diferença em relação às

frentes frias em advecção quente e advecção fria. No primeiro caso, ocorre forte advecção quente antes da passagem da frente, diminuição da advecção quente durante a passagem da frente e fraca advecção quente após a passagem da frente. No segundo caso ocorre fraca advecção fria antes da passagem da frente, diminuição da advecção fria durante a passagem da frente e forte advecção fria após a passagem da frente. Em ambos os casos a precipitação é mais fraca que nos três casos anteriores pois os contrastes térmicos são em geral menos acentuados. Assim, a localização de zonas de advecção quente e fria é essencial para distinguir frentes frias em advecção fria e quente entre si e para as distinguir de frentes frias anabáticas, catabáticas e divididas.

Para ajudar a identificar estes modelos conceptuais de frente fria, irão sobrepor-se alguns campos horizontais (parâmetros-chave) a imagens de satélite (RGB\_massas\_de\_ar) retirados do site Satrep Online (<http://www.satreponline.org/archive.php?width=1280&height=800>). São eles:

- Espessura equivalente;
- Parâmetro Frontal Térmico;
- Zonas de advecção quente e fria;
- Máximos de advecção de vorticidade positiva;
- Localização e direcção da corrente de jacto.

Importa referir que os modelos conceptuais referidos se podem encontrar todos na mesma frente fria (em zonas diferentes) e que ao longo do tempo um modelo conceptual pode dar origem a outro (por exemplo uma frente fria anabática pode passar a frente fria catabática). Por isto, a identificação dos modelos conceptuais de frente fria será feita de 12h em 12h entre as 00h dos dias 15 e 18.

### ***Imagens de satélite***

Para ajudar na análise dos dados, irão ser utilizadas as imagens de satélite disponíveis (<http://www.eumetsat.int/Home/index.htm>).

A EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) é uma organização europeia responsável pelo lançamento e monitorização de satélites meteorológicos. Existem alguns países da Europa, entre os quais Portugal, que são membros desta organização. O MSG (Meteosat Second Generation) é um conjunto de satélites (quatro) geostacionários lançados pela EUMETSAT. Estes satélites recolhem imagens em 12 canais diferentes (a cada canal corresponde uma banda de comprimentos de onda diferente). A EUMETSAT difunde as imagens de satélite de cada canal pelos seus países membros. Além destas imagens, a EUMETSAT também difunde algumas imagens que resultam da combinação de alguns desses canais ([http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg\\_interpretation/msg\\_channels.php](http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/msg_channels.php)). No entanto, cada país pode ainda elaborar outras combinações de canais (não feitas pela EUMETSAT) para obter outras imagens de satélite.

As imagens de **RGB massas\_de\_ar** (R=Red, G=Green e B=Blue) têm como principal finalidade, como o nome indica, identificar diferentes massas de ar. Estas imagens são obtidas através da combinação de vários canais:

- Diferença entre os canais de vapor de água WV\_62 (canal 5) e WV\_73 (canal 6);
- Diferença entre o canal de ozono IR97 (canal 8) e o canal de infravermelho IR108 (canal 9);
- WV\_62 (canal 5).

As combinações destes canais e respectiva imagem final são elaboradas pela EUMETSAT.

Na primeira combinação (Red) quanto mais negativa é a diferença entre os canais 5 e 6 mais escuro é o vermelho, sendo o vermelho mais claro, quanto menor a diferença; na segunda (Green) quanto mais negativa é a diferença entre os canais 8 e 9 mais escuro é o verde, sendo o verde mais claro quanto menor a diferença. Por fim, no terceiro canal (Blue) quanto maior é o valor de cada pixel, mais escuro é o azul; sendo o azul mais claro, quanto menor é o valor de cada pixel. A cor que cada pixel da imagem apresenta, aparece como a sobreposição da cor que cada ponto apresenta em cada combinação. Assim, se a diferença for nula nas duas primeiras combinações e o

valor na terceira combinação for o mais baixo, a sobreposição das três combinações (Red, Green and Blue) dará ao pixel cor branca.

Assim, mediante as várias combinações de cores identificam-se tipicamente nestas imagens as seguintes cores e estruturas:

- Cor branca: nuvens altas ou de desenvolvimento vertical;
- Cor azul escura/roxa: massa de ar frio e seco com baixa altitude da tropopausa;
- Cor-de-rosa: nuvens médias em sector frio;
- Azul/esverdeado: massa de ar quente com alta altitude da tropopausa;
- Amarelo: nuvens médias em sector quente;
- Vermelho/Cor de vinho: intrusão de ar estratosférico;
- Laranja/Vermelho: superfície muito quente.

As imagens de WV\_62 (canal 5) servem para identificar vapor de água na alta troposfera. Cor escura representa ar seco em altitude, cor mais acinzentada maior quantidade de vapor de água em altitude e cor branca a presença de nuvens de topo alto. Este canal é bastante útil, por exemplo, para localizar a corrente de jacto e identificar intrusões de ar estratosférico (onde o ar é muito seco) na troposfera. Neste canal é recebida radiação centrada no comprimento de onda de  $6.2\mu\text{m}$ . Esta zona de comprimento de onda corresponde essencialmente a radiação emitida pela Terra que é fortemente absorvida pelo vapor de água. Apesar do vapor de água se encontrar essencialmente junto ao solo, se existir vapor de água em altitude, este absorverá a radiação emitida pelo vapor de água, a uma temperatura mais elevada, nas camadas mais próximas do solo, reemitindo essa mesma radiação, embora a uma menor temperatura. Assim, se houver vapor de água em altitude, será a radiação aí emitida, a uma temperatura mais baixa, que será detectada no satélite (atribuindo-se tons de cinzento mais claros quanto menor é a temperatura de emissão). Se só houver vapor de água a menores altitudes, será a radiação emitida por esse vapor de água, a uma temperatura mais elevada, que será detectada no satélite (atribuindo-se tons de cinzento mais escuros quanto maior é a temperatura de emissão). Como as nuvens mais altas também emitem neste comprimento de onda, estas também são detectadas neste canal (Iribarne e Cho, 1980).

As imagens de IR\_108 (canal 9) servem para identificar diferentes superfícies através de diferenças de temperatura entre elas, permitindo assim distinguir nuvens do solo e nuvens entre si com base nas diferentes temperaturas dos seus topos. Neste canal é recebida radiação centrada no comprimento de onda de  $10.8\mu\text{m}$ . Como se sabe, neste comprimento de onda a radiação que chega ao satélite é radiação terrestre. Esta zona é a zona de janela atmosférica, ou seja a radiação emitida neste comprimento de onda não é absorvida por nenhum dos componentes (gases) da atmosfera (Iribarne e Cho, 1980). Assim, esta é emitida a partir de superfícies (nuvens, mar, solo, neve) chegando directamente (sem ser absorvida) ao satélite. Para as imagens obtidas, nuvens, mar e solo, maiores tons de cinzento significam superfícies mais quentes. Nas nuvens de topo mais frio as cores variam desde vermelho, laranja, amarelo, verde, azul claro, azul-escuro até branco, sendo o vermelho a cor que representa a temperatura mais elevada e o branco a temperatura mais baixa.

Os três tipos de imagens de satélite já referidos podem ser obtidos a qualquer hora do dia pois não necessitam da luz solar.

Outras imagens de satélite, tais como as imagens de VIS\_006 (canal 1) só podem ser obtidas durante o dia pois necessitam da luz solar. Este canal recebe radiação centrada no comprimento de onda de  $0.6\mu\text{m}$ . Como é sabido a radiação solar visível encontra-se entre cerca de  $0.4$  e  $0.8\mu\text{m}$  pelo que o satélite receberá radiação na zona do visível. Assim sendo serão detectadas diferentes superfícies consoante o seu albedo (% de radiação reflectida). Zonas de elevado albedo, como a neve ou nuvens de desenvolvimento vertical, aparecem com cor branca, ao passo que superfícies de menor albedo tais como florestas ou nuvens pouco espessas (*cirrus*) aparecem em tom mais cinzento.

As imagens RGB\_Natural e RGB\_nuvens\_HRV são também imagens que resultam da combinação de três canais, aos quais se atribuem diferentes tonalidades de vermelho (R), verde (G) e azul (B). As combinações de canais e respectivas imagens finais são elaboradas pela EUMETSAT.

As imagens de RGB\_Natural servem essencialmente para distinguir a fase líquida (água) da fase sólida (gelo ou neve), sendo por isso bastante úteis para distinguir nuvens com topos a diferentes altitudes (mediante a sua constituição por água líquida ou gelo) e superfícies cobertas de neve. Neste tipo de imagens as nuvens constituídas por água líquida têm cor branca, ao passo que as nuvens constituídas por gelo e as superfícies cobertas de neve têm cor azul clara. Nestas imagens também é possível distinguir zonas florestais (verde) de zonas desérticas (amarelo). O oceano apresenta cor azul escura. Estas imagens resultam da combinação de três canais:

- IR\_1.6 (canal 3, infravermelho próximo) ao qual se atribui diferentes tonalidades de vermelho;
- VIS\_0.6 (canal 1) ao qual se atribui diferentes tonalidades de verde;
- VIS\_0.8 (canal 2) ao qual se atribuem diferentes tonalidades de azul.

As diferentes reflectividades entre superfícies desérticas e vegetação são bastante notórias no canal VIS\_0.8 (reflectividade das plantas é bastante superior neste comprimento de onda). Em torno do comprimento de onda de  $1.6\mu\text{m}$  as partículas de gelo são bastante efectivas na absorção de radiação ao passo que as gotículas de água reflectem bastante a radiação em torno deste comprimento de onda. Este canal serve por isso essencialmente para distinguir gotículas de água de cristais de gelo.

A sobreposição de cores de cada canal irá atribuir a cor de cada pixel na imagem RGB. Este tipo de imagens só pode ser obtido durante o dia (necessitam de luz solar).

As imagens RGB\_nuvens\_HRV servem essencialmente para distinguir nuvens mediante a altitude dos seus topos. Nuvens médias apresentam tom amarelo claro, nuvens baixas amarelo vivo, nuvens altas tom azul claro/branca e nuvens de desenvolvimento vertical cor branca. O solo apresenta cor acastanhada e o mar cor azul escura. Estas imagens resultam da combinação de três canais:

- HRV (canal 12, High-Resolution Visible) ao qual se atribuem diferentes tonalidades de vermelho;
- HRV (canal 12, High-Resolution Visible) ao qual se atribuem diferentes tonalidades de verde;
- IR\_10.8 (canal 9) ao qual se atribuem diferentes tonalidades de azul.

O canal HRV capta radiação em toda a banda do visível (entre cerca de  $0.4$  e  $0.8\mu\text{m}$ ) em vez de radiação centrada nos  $0.6$  e  $0.8\mu\text{m}$  como acontece nos canais VIS\_0.6 e VIS\_0.8, respectivamente. Além disso, a sua resolução espacial é de  $1\text{km}$ , o que permite identificar estruturas mais pequenas (daí o nome High Resolution). Assim, nas imagens R e G, maiores reflectâncias correspondem a tonalidades de vermelho e verde, respectivamente, mais claras. Na imagem B superfícies com temperaturas mais baixas são representadas por tonalidades mais claras de azul. A cor que cada pixel apresenta nestas imagens de satélite resulta da combinação de cores desse pixel em cada uma das imagens (R, G e B). Este tipo de imagens é visível durante o dia, embora durante a noite se consiga visualizar o efeito do canal IR\_10.8 (não necessita da luz solar) em diferentes tons de azul.

Por fim as imagens de satélite DIF\_062\_108 servem essencialmente para localizar overshootings (movimento ascendente em nuvens de desenvolvimento vertical que atinge a estratosfera). Como o nome indica estas imagens obtêm-se através da diferença entre os canais WV\_062 e IR\_108. A combinação destes canais é feita no Instituto de Meteorologia (ao contrário das imagens RGB\_massas\_de\_ar, RGB\_Natural e RGB\_Nuvens\_HRV onde as combinações de canais são feitas pela EUMETSAT). Neste tipo de imagens nuvens com topos mais baixas aparecem com cor cinzenta/branca, nuvens altas com cor azul e overshootings com cor vermelha. Podem ser obtidas durante o dia e a noite, pois não necessitam da luz solar, embora só tenham sido obtidas imagens durante o dia (excepto no dia 18 às 00h).

## *Tefigramas*

Os tefigramas são ferramentas fundamentais de análise não só porque dão informação em relação à estabilidade atmosférica mas também porque permitem obter informações acerca das massas de ar, através de variações de temperatura e humidade relativa em altitude.

Importa desde já mencionar que os tefigramas que vão ser utilizados nesta dissertação não são tefigramas observados, são tefigramas obtidos com dados das análises do modelo ECMWF a diferentes altitudes.

Nos tefigramas utilizados pode-se retirar informação acerca de vários parâmetros atmosféricos. No entanto, ao longo desta dissertação só irão ser analisadas as linhas de temperatura (azul), temperatura de ponto de orvalho (verde) e temperatura da parcela de ar (negra). É possível obter ainda valores dos índices de estabilidade TPW, CAPE, CINE e LI que irão também ser analisados.

A temperatura do ponto de orvalho ( $T_d$ ) é a temperatura a que o ar tem de ser arrefecido para que comece a ocorrer condensação do vapor de água. A temperatura da parcela de ar é a temperatura que uma parcela de ar teria se fosse deslocada adiabaticamente enquanto não saturada e pseudo-adiabaticamente se saturada, até um determinado nível de pressão ou altitude (Iribarne e Cho, 1980; McIntosh e Thom, 1981; Salby, 1996).

O índice TPW (Total Precipitable Water) define-se como a profundidade (ou altura) de água líquida que seria acumulada se todo o vapor da água contido um cilindro hipotético acima de um local na terra se condensasse numa quantidade equivalente de água líquida. Geralmente é expresso em mm. ([http://www.meted.ucar.edu/npoess/microwave\\_topics/clouds\\_precip\\_water\\_vapor /navmenu.htm](http://www.meted.ucar.edu/npoess/microwave_topics/clouds_precip_water_vapor/navmenu.htm)). Este parâmetro permite avaliar a quantidade de vapor de água num dado local.

O índice CAPE (Convective Available Potential Energy) corresponde, num tefigrama, à área entre as linhas da temperatura (azul) e da trajectória da parcela de ar (negra), enquanto a linha da trajectória da partícula está à direita da linha da temperatura. Se uma parcela de ar for forçada a subir até essa altitude (em que as linhas se cruzam) irá continuar a subir espontaneamente pois a temperatura da parcela é superior à do meio que a rodeia, sendo por isso mais leve. A parcela subirá espontaneamente até a sua temperatura voltar a ser menor que a temperatura do ar que a rodeia (quando as linhas se cruzam novamente). Assim sendo, quanto maior o valor do CAPE maior a probabilidade de trovoadas e aguaceiros fortes. A classificação da estabilidade da atmosfera em termos de CAPE é ilustrada na Tabela 1.

**Tabela 1:** CAPE e graus de estabilidade atmosférica (U.S.A.F., 1961).

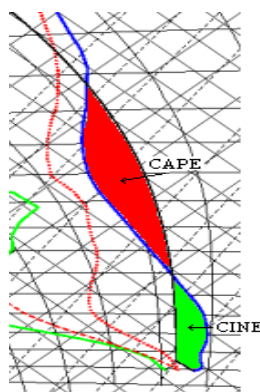
Valores de CAPE (J/kg)	Estabilidade
0	Estável
0 a 1000	Pouco Instável
1000 a 2500	Moderadamente Instável
2500 a 3500	Instável
>3500	Extremamente Instável

De referir ainda, que a atmosfera é considerada potencialmente instável quando a linha da trajectória da partícula está à esquerda, mas próxima da linha de temperatura. Nesta situação a temperatura da parcela é ligeiramente inferior à temperatura do meio ambiente, pelo que se a parcela de ar estiver a subir, irá reduzir a velocidade de subida de forma lenta (isto é, há fraca inibição do movimento de subida do ar). Deste modo, podem existir zonas de atmosfera potencialmente instável mesmo com CAPE nulo.

O índice CINE (Convective Inhibition Negative Energy) corresponde, num tefigrama, à área entre as linhas da trajectória da parcela de ar (negra) e da temperatura (azul), enquanto a linha da trajectória da partícula está à esquerda da linha da temperatura. Conceptualmente pode ser considerado o oposto CAPE. Como a temperatura da parcela é inferior que a do ar circundante (parcela mais densa) a parcela tenderá a descer até atingir uma temperatura igual à do ar

circundante. Assim o CINE pode ser visto como a barreira de energia que é preciso vencer para que uma parcela de ar comece a subir espontaneamente. Valores de CINE muito baixos (até cerca de 50J/kg) e muito altos (acima de 200J/kg) inibem a ocorrência de tempestades. Valores ideais para a ocorrência de tempestades encontram-se entre cerca de 100 e 150J/kg. Valores de CINE muito baixos não permitem a acumulação de energia suficiente, ao passo que valores de CINE muito elevados requerem muita energia para que o ar comece a subir espontaneamente. Valores de CINE intermédios são ideais pois permitem acumular alguma energia que, depois de romper esta barreira permitirá que o ar suba espontânea e rapidamente (de modo idêntico ao que acontece com uma barragem quando atinge a capacidade máxima).

Na Figura 3 são representadas, como exemplo, as zonas referentes ao CAPE e CINE num tefograma.



**Fig. 3:** CAPE e CINE numa radiossondagem

O índice LI (Lifted Index) é definido como a diferença entre a temperatura da parcela (dada pela linha negra) e a temperatura do ar circundante (linha azul) aos 500hPa. Em termos de valores de LI a atmosfera é classificada como se indica na Tabela 2.

**Tabela 2:** Índice LI, estabilidade e probabilidade de ocorrência de tempestades  
([http://expert.weatheronline.co.uk/lftx\\_frame.htm](http://expert.weatheronline.co.uk/lftx_frame.htm))

Diferença de Temperatura (°C)	Estabilidade	Probabilidade de ocorrência de tempestades
>11°C	Extremamente estável	Não ocorrem tempestades
Entre 8° e 11°C	Muito estável	Não ocorrem tempestades
Entre 4° a 7°C	Estável	Não ocorrem tempestades
Entre 0° a 3°C	Maioritariamente estável	Não ocorrem tempestades
Entre -3°C a -1°C	Pouco Instável	Tempestades possíveis
Entre -5°C a -4°C	Instável	Tempestades prováveis
Entre -7°C a -6°C	Muito Instável	Tempestades severas possíveis
< -7°C	Extremamente Instável	Tempestades muito violentas

### ***Campos Horizontais do Modelo ECMWF***

O ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast) é um centro Europeu onde se elaboram previsões de tempo até 10 dias (médio prazo). O modelo do ECMWF é um modelo global de previsão numérica de tempo. A previsão numérica do tempo recorre ao potencial de cálculo dos computadores para produzir uma estimativa do estado futuro da atmosfera utilizando modelos que se baseiam num conjunto de equações que traduzem as leis físicas que descrevem o comportamento hidrodinâmico da atmosfera ([http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o\\_tempo/previsao.numerica/index.html](http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o_tempo/previsao.numerica/index.html)). A resolução dessas equações é impossível de se realizar manualmente sendo necessário recorrer a algumas aproximações para estas serem resolvidas em



computador. Através da sua resolução obtém-se “o estado futuro” de uma variável atmosférica, isto é, uma previsão.

Os campos horizontais obtidos nesta dissertação resultam de previsões deterministas efectuadas pelo modelo, isto é, previsões em que através do conhecimento do estado inicial da atmosfera, e das condições nas fronteiras do modelo, é possível prever qual vai ser o estado da atmosfera num instante futuro. O ECMWF elabora também previsões por *ensemble*, onde o mesmo modelo de previsão é corrido várias vezes, mas com ligeiras alterações nas condições iniciais. Neste caso estas previsões são probabilísticas e servem para ajudar a complementar as previsões deterministas (embora nesta dissertação se utilizem apenas as previsões deterministas).

O modelo ECMWF apresenta uma resolução horizontal 2,5° o que, à nossa latitude, corresponde a cerca de 40km e uma resolução vertical de 61 níveis. Esta resolução é utilizada qualquer que seja a escala da imagem. Deste modo as variáveis dos campos do Atlântico e Europa Ocidental e dos campos da Península Ibérica são obtidas com a mesma resolução, embora tenham escalas diferentes. Dada esta resolução, o modelo é indicado para fazer previsões de fenómenos de escala sinóptica tais como anticiclones, depressões, ou superfícies frontais. O ECMWF efectua previsões de várias variáveis, tanto em superfície como em altitude. Além de previsões podem também fazer-se análises. O campo de análise de uma variável constitui o estado inicial com que se faz a previsão. De uma forma muito resumida, para se obter uma análise utilizam-se observações (superfície e altitude) que são complementadas com valores estimados pelo modelo nos pontos onde não existem observações. Através deste método filtram-se ou corrigem-se algumas observações que possam apresentar erros e obtém-se o estado inicial da atmosfera em locais onde não existem observações ([http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o\\_tempo/previsao.numerica/ecmwf/index.html](http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o_tempo/previsao.numerica/ecmwf/index.html)).

De seguida, considera-se oportuno introduzir algumas variáveis que serão utilizadas durante esta dissertação.

**Pressão atmosférica e vento:** a pressão é definida como uma força perpendicular por unidade de área. Como o ar contido na atmosfera tem massa, as moléculas de ar acima de um determinado nível irão exercer pressão sobre uma determinada superfície. Como a distribuição de moléculas de ar não é uniforme, a pressão varia de local para local à superfície e em altitude. Essas diferenças de pressão fazem com que o ar se comece a deslocar horizontalmente das zonas de maior para as zonas de menor pressão, dando assim origem ao vento (Holton, 2004).

**Altura de geopotencial:** é definida através da expressão  $Z = \frac{1}{g_0} \int_0^z g dz$ , em que  $g_0 = 9,81 \text{ m/s}^2$  (aceleração da gravidade ao nível do mar),  $z$  a altitude (em m) e  $g$  a aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ ) ao nível  $z$ . Na troposfera a altura de geopotencial é quase igual à altura geométrica pelo facto de  $g_0$  e  $g$  serem praticamente iguais. Assim, o campo da altura de geopotencial aos 500hPa (por exemplo) dá a altitude aproximada a que esse nível de pressão se encontra (Holton, 2004; Wallace e Hobbs, 2006).

**Advecção de temperatura:** o termo advecção significa transporte de algo. Variáveis como a temperatura, humidade ou até o próprio vento são advectadas, isto é, transportadas, desde que haja movimento de ar. Por exemplo, se houver uma diferença horizontal de temperatura (gradiente térmico) e o vento soprar da zona da temperatura mais alta para a zona de temperatura mais baixa irá ocorrer transporte (advecção) do ar quente em direcção ao ar frio. Neste caso ocorre advecção quente. Se o vento soprasse na direcção oposta haveria advecção fria. As zonas de advecção fria e quente podem ser identificadas em campos de vento sobrepostos a campos de temperatura. Se o vento soprar das zonas de maior para as de menor temperatura ocorre advecção quente, ocorrendo advecção fria se soprar das zonas de menor para as de maior temperatura. Se o vento soprar paralelo às isotérmicas não ocorre advecção de temperatura (Holton, 2004; Stull, 2000).

**$\Theta_{sw}$  aos 850hPa:** é a temperatura potencial de termómetro molhado aos 850hPa. A temperatura potencial de termómetro molhado a um dado nível (altitude) define-se como a temperatura atingida por uma massa de ar deslocada adiabaticamente desde o nível considerado, neste caso 850hPa, até ao nível em que a parcela satura, sendo depois deslocada pseudo-adiabaticamente até ao nível de pressão de 1000hPa. Este parâmetro é bastante importante para

distinguir massas de ar, sendo que maiores valores de  $\Theta_{sw}$  significam maiores valores de temperatura e/ou de vapor de água. Uma vez que este parâmetro varia com a quantidade de vapor de água e temperatura é considerado uma ferramenta essencial para identificar diferentes massas de ar. O nível de 850hPa é utilizado para se eliminarem os efeitos de aquecimento/arrefecimento do solo (Iribarne e Cho, 1980; Salby, 1996; McIntosh e Thom, 1981).

$\omega$ : é a velocidade vertical em coordenadas isobáricas. É dada pela expressão  $\omega = \frac{dp}{dt}$ . Como a pressão diminui com a altitude, significa que em movimentos ascendentes  $\omega$  é negativo, sendo positivo em movimentos descendentes ( $\omega$  tem sinal oposto a  $w = \frac{dz}{dt}$  que é a velocidade vertical em coordenadas cartesianas) (Holton, 2004).

Os campos horizontais obtidos no Satep Online (para análise do modelo conceptual de frente fria) são também obtidos através do modelo ECMWF.

**Espessura equivalente:** quando maior for a espessura equivalente entre dois níveis de pressão, maior será a temperatura virtual média da camada entre esses dois níveis de pressão. Assim, quanto maior for o conteúdo de vapor de água ou a temperatura entre esses dois níveis de pressão, maior será o valor da espessura equivalente (<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>).

(Temperatura virtual define-se como a temperatura que o ar seco teria de ter para que a sua pressão e densidade iguaissem as do ar húmido) (Wallace e Hobbs, 2006).

**Parâmetro Frontal Térmico:** é dado pela expressão  $PFT = -\nabla|\nabla T| \cdot \frac{\nabla T}{|\nabla T|}$  onde T é a temperatura (a qualquer altitude). O primeiro factor ( $-\nabla|\nabla T|$ ) é a variação do gradiente de temperatura ( $|\nabla T|$ ), o segundo ( $\frac{\nabla T}{|\nabla T|}$ ) é a sua projecção na direcção do gradiente de temperatura. O parâmetro frontal térmico é bastante útil para localizar frentes. Estas localizam-se em zonas onde este parâmetro tem valores máximos (<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>).

**Zonas de Advecção fria e quente:** zonas onde o ar frio é transportado (pelo vento) em direcção ao ar quente são zonas de advecção fria; zonas onde o ar quente é transportado em direcção ao ar frio são zonas de advecção quente (ver advecção de temperatura) (Holton, 2004).

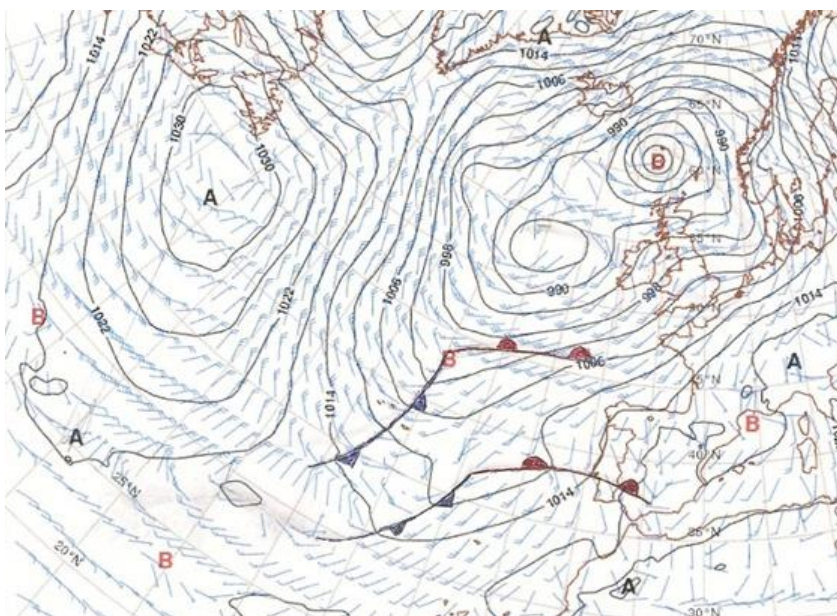
**Máximos de advecção de vorticidade positiva:** a vorticidade é um parâmetro que mede o grau de rotação de um fluido por unidade de área de um ponto no campo de escoamento. Considera-se positiva se a rotação for no sentido anti-horário e negativa no sentido horário. A vorticidade absoluta ( $\eta$ ) é a soma da vorticidade planetária ( $f$ , parâmetro de Coriolis) e a vorticidade relativa ( $\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ ), sendo  $v$  e  $u$  as componentes do vector velocidade, nomeadamente a componente meridional (sul-norte) e a componente zonal (oeste-leste). A vorticidade está relacionada com os movimentos verticais de ar na atmosfera. De uma forma muito resumida, pode-se dizer que o aumento da vorticidade implica subida de ar, ao passo que a diminuição de vorticidade implica descida de ar. Tal como a temperatura ou o vapor de água, também a vorticidade pode ser advectada, isto é, transportada. Assim, máximos de transporte (advecção) de vorticidade positiva para um local implicam que ocorra um aumento de vorticidade positiva nesse local. Nesse local será favorecida a subida de ar. Por outro lado, mínimos de advecção de vorticidade positiva para um local implicam que ocorra uma diminuição de vorticidade positiva, ou seja, é favorecida a descida de ar nesse local. Assim a localização de máximos e mínimos de advecção de vorticidade positiva é uma ferramenta bastante útil para localizar zonas propícias à formação e dissipação de nuvens (Holton, 2004; Wallace e Hobbs, 2006).

**Localização e direcção da corrente de jacto:** a corrente de jacto pode ser definida como uma zona estreita de vento forte, de eixo quase horizontal e geralmente situada na zona superior da tropopausa. Esta corrente é caracterizada por grandes variações da intensidade do vento, quer na vertical quer na horizontal e pode conter um ou vários máximos de velocidade de vento (Holton, 2004). Para ser considerada uma corrente de jacto, a intensidade do vento deve ser superior a 60 nós (1 nó=0,514m/s). Localizar a corrente de jacto é bastante importante pois esta está relacionada com zonas de movimentos ascendentes e descendentes de ar. Por outro lado a sua localização e direcção é também um dos parâmetros que permite distinguir diferentes modelos conceptuais de frente fria.

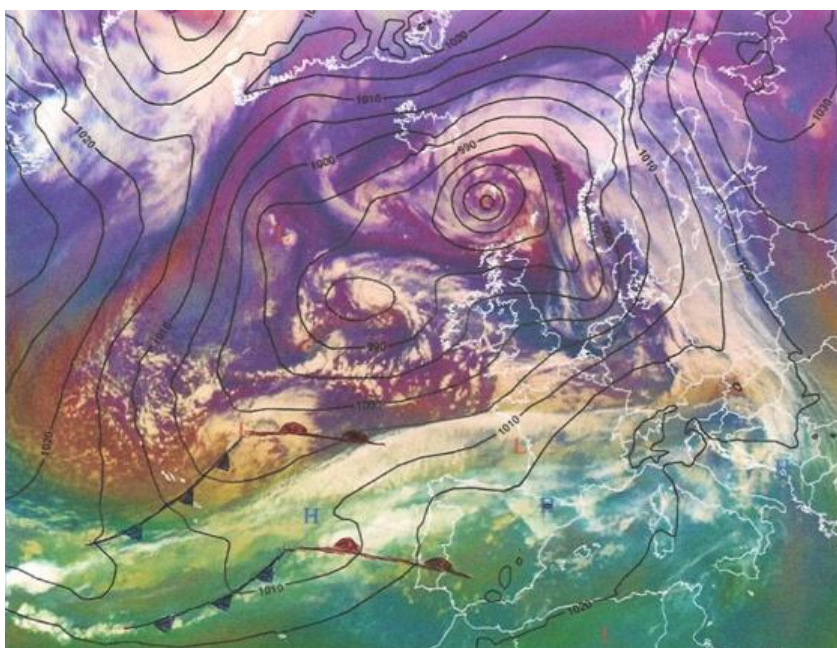
## 5. Análise de resultados

### Domingo, dia 15 de Novembro, 00h:

Às 00h de dia 15, como mostram as Figuras 4 e 5 localizam-se duas frentes quentes e duas frentes frias (em dois sistemas frontais). Uma das frentes frias está na zona Oriental dos Açores, a outra no Atlântico, entre os Açores e a Madeira. Quanto às frentes quentes, uma encontra-se em Portugal Continental, perto de Lisboa, a outra encontra-se a noroeste da Galiza. As frentes foram desenhadas a partir da interpretação de dados disponíveis e análise realizada.



**Fig.4:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa), vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF) + frentes, dia 15 às 00h



**Fig.5:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar + frentes, dia 15 às 00h

Para as 00h obtiveram-se as imagens de satélite disponíveis durante a noite: RGB\_massas\_de\_ar, WV\_062 e HRIT\_IR\_10.8.

A Figura A-1 (ver anexo de figuras) mostra a nebulosidade associada às frentes frias na parte Oriental e a sudeste dos Açores, respectivamente, mostrando também a nebulosidade associada à frente quente mais a sul, na parte norte do Continente. A frente quente mais a norte (rever Figura 5) parece estar já em fase de dissipação, pois tem já pouca nebulosidade associada (nas frentes quentes a nebulosidade está essencialmente antes da frente). A existência de nuvens dificulta a identificação das zonas de transição entre o ar frio e quente pois a sua cor sobrepõe-se aos tons de roxo e esverdeado que distinguem os sectores frio e quente, respectivamente. Por isto, e apenas recorrendo à Figura A-1, não se consegue visualizar se a parte norte do País está em sector frio ou quente (apesar de efectivamente se saber que a parte norte está em sector frio). Já no sul do Continente e na Madeira, o céu está pouco nublado ou limpo e o tom esverdeado mostra que se está em sector quente.

A Figura A-2 mostra a existência de vapor de água na alta troposfera (tons de cinzento) tanto sobre o Continente como sobre a Madeira, ilustrando também as organizações nebulosas já referidas em tom branco. Na zona dos Açores a alta troposfera contém pouco vapor de água (cores mais escuras), o que indica que deve ser sobre essa zona que se encontra a corrente de jacto.

Por fim a Figura A-3 mostra que sobre a Madeira e no sul do Continente o céu se encontra limpo ou pouco nublado. Visualizam-se também as nuvens com topo relativamente frio, com direcção sudoeste/nordeste no noroeste da Galiza, associadas à frente quente que se encontra mais a sul. A nebulosidade associada às frentes frias apresenta nuvens com topo mais quente que a nebulosidade associada às frentes quentes. A informação desta imagem de satélite, associada a outros dados, poderá ajudar a concluir quais das nuvens com topo relativamente frio são altas e quais poderão ser nuvens com desenvolvimento vertical. Assim pode-se saber para onde as frentes se deslocam (através das nuvens altas) e onde poderá ocorrer precipitação (onde as nuvens têm maior desenvolvimento vertical).

Olhando agora para os tefigramas (Figuras A-4 a A-7) de Lisboa, Porto, Faro e Funchal, pode-se concluir que no Porto, Faro e Funchal o CAPE (maior que 0) aponta para uma atmosfera pouco instável e em Lisboa para uma atmosfera estável (CAPE nulo). O LI (superior a 3°C) aponta para uma atmosfera estável em Lisboa, Faro e Funchal e muito estável (superior a 7°C) no Porto. Verifica-se ainda que em Lisboa e no Porto a humidade relativa em toda a troposfera é bastante elevada. De referir que no Porto existe entrada de ar quente em altitude (aumento de temperatura), facto que poderá indicar a aproximação da frente quente que está a norte de Lisboa. Já em Faro e no Funchal a humidade relativa é menor, sobretudo na média/baixa troposfera (entre cerca de 900hPa e 500hPa). Por outro lado, o parâmetro TPW mostra que a atmosfera tem maior conteúdo de vapor de água nas cidades de Lisboa e Porto do que no Funchal e em Faro.

Olhando para a Figura A-8 verifica-se que ocorreram 160 descargas eléctricas atmosféricas sendo que a grande maioria ocorreu nas primeiras horas do dia, sobre o mar e longe da costa, ou seja também longe das cidades onde se analisaram os tefigramas. Apenas se registaram duas descargas no distrito da Guarda e quatro no de Lisboa, descargas que deverão estar associadas à passagem da frente quente. A ocorrência destas descargas mostra que nestes locais (Guarda e Lisboa) havia alguma instabilidade atmosférica. Este facto não está de acordo com os valores de CAPE e LI registados em Lisboa. No entanto, o tefograma de Lisboa mostra que as linhas da temperatura e da parcela estão relativamente próximas desde o solo até cerca de 650hPa, ou seja, que a atmosfera se pode considerar potencialmente instável até esse nível. A existência de uma atmosfera potencialmente instável até essa altitude poderá explicar a ocorrência das descargas eléctricas detectadas na zona de Lisboa. No Porto a atmosfera também é potencialmente instável (linhas de temperatura e trajectória da parcela quase coincidentes) desde o solo até cerca de 700hPa. No entanto, perto do Porto não se registou nenhuma descarga eléctrica (talvez devido à intrusão de ar quente a partir de cerca de 700hPa, que torna a atmosfera muito estável a partir dessa altitude).

A observação da Figura A-9 mostra que existe um mínimo de pressão à superfície (embora não assinalado e não exista isóbara fechada) a cerca de 37°N e 18°W. Na Figura A-10 verifica-se

que as zonas nebulosas que separam os sectores quente e frio deverão estar associadas às zonas onde as frentes estão desenhadas nas Figuras 4 e 5.

As Figuras A-11 e A-12 ajudam a concluir que a parte norte do País está em sector frio e a parte sul em sector quente. Este aspecto é sobretudo visível através da direcção do vento, com direcção dominante de leste/sudeste na maior parte das estações a norte e de sul nas estações mais a sul. Também os valores de temperatura e temperatura de ponto de orvalho, na ordem dos 16/17°C na parte sul e na ordem dos 10°C a 13°C na parte norte, parecem indicar a existência de uma frente. No entanto, através destes parâmetros (devido a efeitos de mesoescala, como lagos, montanhas ou proximidade ao mar) já não é tão fácil “delimitar” a frente. Dada a configuração das isóbaras e direcção do vento, verifica-se que a componente de vento dominante é de sul. Devido a este facto, e como o ar mais quente está a sul, este irá ser advectado para norte, em direcção ao ar frio, pelo que significa que se está na presença de uma frente quente. A Figura A-13 mostra um vento dominante de sudoeste e valores de temperatura e temperatura de ponto de orvalho elevados e próximos uns dos outros (excepto nas duas estações em altitude), o que comprova que a Madeira se encontra em sector quente.

Aos 500hPa como mostra a Figura A-14 encontra-se um vale em aproximação a leste do Continente e Madeira, ocorrendo advecção quente sobre toda a região da Península Ibérica às 00h (entrada de ar quente associada à superfície frontal ocorre primeiro em altitude e depois junto ao solo), ocorrendo advecção fria sobre os Açores. Verifica-se ainda que aos 500hPa, no Continente e Madeira, se está em sector quente. A Figura A-15 mostra que sobre a região da península Ibérica está a ocorrer advecção de ar quente aos 850hPa, ao passo que na zona dos Açores já ocorre advecção de ar frio.

A Figura A-16 mostra os gradientes de  $\theta_{sw}$  associados às frentes quentes e frias identificadas. Os valores de  $\theta_{sw}$  menores que se verificam no sul do Continente e na Madeira, podem levar a concluir que aí há uma intrusão de ar frio. No entanto, a observação dos tefigramas, mostra que, não só aos 850hPa, como em quase toda a troposfera o ar é ligeiramente mais quente em Faro e no Funchal do que em Lisboa, sendo mais frio no Porto (especialmente na média/baixa troposfera). A diminuição de  $\theta_{sw}$  aos 850hPa sobre a Madeira e no sul do Continente (zona com cor verde na figura A-16) acontece porque aí o ar tem menos vapor de água, como se viu no tefigrama através dos valores de TPW (muito menores em Faro e no Funchal do que no Porto e em Lisboa), e não devido a uma suposta intrusão de ar frio.

Por fim, a Figura A-17 mostra que sobre o Continente e a oeste ocorrem velocidades verticais negativas, sendo que esta área está envolvida por uma cunha onde existem velocidades verticais positivas. As zonas de velocidade vertical negativa favorecem a formação de nuvens e ocorrência de precipitação, ao passo que as zonas com velocidade vertical positiva a dissipação de nuvens. Assim, a transição entre zonas de velocidades negativas e positivas acentuadas ajuda a identificar as interfaces entre ar quente e frio (frentes) a uma dada altitude, pois antes da passagem das frentes ocorre subida de ar, ocorrendo descida de ar após a sua passagem.

### **Domingo, dia 15 de Novembro, 12h:**

Às 12h do dia 15 encontra-se uma frente quente sobre a parte norte de Espanha (Figuras 6 e 7). A frente quente que se encontrava a norte de Espanha às 00h está praticamente dissipada, ao passo que a frente que se encontra no norte de Espanha era a que se encontrava perto de Lisboa às 00h. Isto significa que a frente quente passou no Porto entre as 00h e as 12h. As frentes frias identificadas às 00h deslocaram-se para sudeste (e estão mais próximas entre si), estando já uma delas perto (a noroeste) da Madeira. A sudoeste da frente fria mais a leste formou-se uma depressão. O movimento de ar ciclónico à sua volta fez com que a noroeste da mesma o ar quente se deslocasse em direcção ao ar frio, ou seja, originou uma frente quente.





A Figura A-21 mostra as nuvens associadas às frentes (com direcção sudoeste/nordeste), mas no entanto não permite inferir sobre a altitude das mesmas, pois toda a nebulosidade apresenta tom branco. No entanto, as Figuras A-22 e A-23 (tal como a Figura A-20) permitem concluir que existem nuvens (na nebulosidade associada às frentes) em mais do que um nível de altitude. Na Figura A-22, as nuvens mais baixas apresentam cor mais amarelada. Aqui vêm-se também ondas de montanha baixas (com aspecto ondulado e tom amarelo). As nuvens mais altas apresentam cor branca. Na Figura A-23, as nuvens mais baixas, constituídas por água, apresentam cor branca, ao passo que a cor azul indica a presença de gelo nas nuvens, ou seja nuvens com topo mais alto. A Figura A-24, mostra que na zona próxima de Cabo Verde (onde na Figura A-20 se identificaram nuvens com topo muito frio) ocorre um overshooting o que mostra a ocorrência de instabilidade. Na nebulosidade que está próxima do continente não ocorrem overshootings o que indica que aí a atmosfera está menos instável.

A partir da análise dos tefigramas (Figuras A-25 a A-28), verifica-se os valores de CAPE apontam para uma atmosfera pouco instável para todas as cidades, ao passo que os valores LI apontam para uma atmosfera estável nas cidades de Faro e Porto e maioritariamente estável em Lisboa e no Funchal. De mencionar também que a atmosfera se encontra potencialmente instável em todas as cidades, mas apenas próximo da superfície (no máximo até cerca de 800hPa no Porto), apresentando-se depois mais estável (linha da temperatura à direita e mais afastada da linha da trajectória da parcela) no resto da atmosfera. A Figura A-29 regista apenas 21 descargas entre as 12h e as 24h, ocorrendo todas longe das referidas cidades.

Nos tefigramas, ao analisar a temperatura do ar em altitude não há grandes variações a registar (excluindo abaixo de cerca de 800/850hPa, devido ao aquecimento diurno) entre as 00h e as 12h para as quatro cidades. A única diferença assinalável, ocorre no Porto, onde às 12h, até cerca de 600hPa o ar está mais quente do que às 00h, para as mesmas altitudes (por exemplo, aos 700hPa a temperatura às 12h é cerca de 5°C superior em relação às 00h), devido à passagem da frente quente. Quanto ao conteúdo de vapor de água, verifica-se que na Madeira o valor de TPW aumentou de 18,9mm às 00h para 32,3mm às 12h, o que se traduziu num aumento da humidade relativa na média/baixa troposfera (uma vez que a temperatura pouco varia em altitude). No Porto o valor do TPW aumentou ligeiramente entre as 00h e 12h (de 32,0mm para 37,2mm), devido à passagem da frente quente. A humidade relativa mantém-se igualmente elevada pois ocorreu aumento de vapor de água e também da temperatura na média/baixa troposfera. Em Faro, a temperatura em altitude e o TPW (18,8mm às 00h e 16,4mm às 12h) praticamente não variaram, pelo que a humidade relativa continuou, sobretudo na média/baixa troposfera, relativamente baixa. Em Lisboa o valor de TPW diminuiu um pouco entre as 00h e as 12h (de 37,2mm para 28,5mm). Esta diminuição de vapor de água deve ter ocorrido maioritariamente entre cerca de 650hPa e 800hPa, pois aí há um decréscimo da humidade relativa, sendo a temperatura do ar quase igual em toda a troposfera, quando comparado com as 00h. Na baixa e na alta troposfera a humidade relativa permanece relativamente elevada. A entrada de ar quente e aumento de TPW no Porto mostram que a frente quente já passou.

A Figura A-30 mostra um vale a oeste e sudoeste de Portugal Continental e que a pressão ao nível do mar diminui no Continente, sobretudo na parte noroeste do País (quando comparado com as 00h) devido à aproximação desse referido vale. A mudança brusca da orientação das isóbaras e a mudança da direcção do vento na parte norte da Península Ibérica e a oeste de da mesma comprovam a localização das frentes (quente e fria respectivamente). Na Madeira registou-se uma diminuição ligeira de pressão (quando comparado com as 00h), o que indica a aproximação da frente fria. Na Figura A-31 constata-se novamente que as zonas com nuvens estão associadas às zonas onde as frentes parecem estar localizadas nas Figuras 6 e 7.

As Figuras A-32 e A-33 mostram que no Continente a frente quente já passou, pois em todo o País a direcção do vento é idêntica (sul/sudoeste), havendo também maior uniformidade nos valores de temperatura de ponto de orvalho entre o norte e o sul. Através da temperatura esta análise (na Figura A-32) é sempre mais difícil devido aos efeitos de mesoescala já referidos. A diminuição de pressão, quando comparada com as 00h, é também visível, bem como a maior proximidade das isóbaras no norte que faz aumentar aí a intensidade do vento (em relação às 00h).

Na Madeira a Figura A-34 mostra que a direcção do vento dominante é aproximadamente a mesma (sudoeste), tal como a temperatura do ar (aqui a amplitude diurna é sempre muito baixa), o que comprova que a Madeira continua em sector quente. Contudo, há um ligeiro aumento (cerca de  $3/4^{\circ}\text{C}$  em média) da temperatura de ponto de orvalho, ilustrando o aumento da quantidade de vapor de água que também se verificou no tefigrama através do aumento do TPW.

A Figura A-35 mostra que o vale em altitude ainda não passou sobre Madeira e Continente e que sobre a Península Ibérica a direcção do vento é aproximadamente paralela às isotérmicas, o que significa que a advecção de temperatura é praticamente nula. Ainda assim verifica-se que (aos 500hPa) se está em sector quente. Na zona do Continente e sobre a Madeira continua a ocorrer advecção de ar quente aos 850hPa, como mostra a Figura A-36, ao passo que a oeste do Continente, sobre o oceano, ocorre advecção de ar frio aos 850hPa, o que sugere que ocorre entrada de ar frio a essa altitude. De notar que a zona de máxima advecção quente ocorre no norte da Península Ibérica, o que é consistente com a passagem da frente quente (aos 850hPa nessa região).

A Figura A-37 mostra que no norte do País o valor de  $\theta_{sw}$  aos 850hPa aumentou em relação às 00h, o que comprova também a deslocação da frente quente para norte. Todo o Continente está agora em sector quente. No sul do País o valor de  $\theta_{sw}$  aos 850hPa diminui pois aí o conteúdo de vapor de água é menor (situação idêntica à mencionada às 00h). Sobre a Madeira ocorre um aumento de  $\theta_{sw}$  em cerca de  $4^{\circ}\text{C}$  em relação às 00h, que ocorre devido ao aumento do conteúdo de vapor de água verificado no tefigrama.

A Figura A-38 mostra “isolinhas” de velocidades verticais negativas “envolvidas” por “isolinhas” de velocidades verticais positivas a norte da Península Ibérica, na região onde se encontra a frente quente e a oeste e sudoeste do Continente, onde se encontra a frente fria. Também aqui é visível a direcção sudoeste/nordeste da frente fria (através das isolinhas de movimentos verticais) já identificada anteriormente.

### **Domingo, dia 15 de Novembro, análise hora-a-hora:**

Através da análise dos dados hora-a-hora verifica-se que na cidade de Faro (Figuras A-39 e A-40) não ocorreu precipitação durante todo o dia. O vento soprou predominantemente de sul, sendo que se registou um aumento da intensidade do vento ao longo do dia que deve ter ocorrido devido ao aumento de gradiente de pressão (menor espaçamento das isóbaras) que também se verificou nas Figuras A-30 e A-34. No entanto, o aquecimento diurno pode ter contribuído também para o aumento da velocidade do vento (brisa). Regista-se uma variação de temperatura que se deve ao aquecimento/arrefecimento devido à ocorrência de aquecimento durante o dia e arrefecimento nocturno durante a noite. A temperatura de ponto de orvalho oscilou pouco ao longo do dia (em torno de  $16/17^{\circ}\text{C}$ ), o que demonstra que o conteúdo de vapor de água pouco variou. Quanto à pressão, verifica-se que os seus valores oscilaram um pouco entre as 00h e as 15h, mantendo-se depois quase constante em torno dos 1015hPa até às 00h do dia 16.

No Funchal, como mostram as Figuras A-41 e A-42, não há registo de dados sobre precipitação pelo que não se pode concluir se ocorreu precipitação. Quanto ao vento, a sua intensidade variou pouco (em torno de 20nós) até às 19h, tendo-se registado uma diminuição brusca a partir dessa hora (os efeitos locais são bastante importantes). Também a direcção do vento foi sempre aproximadamente de sudoeste até às 19h, sendo depois variável entre as 19h e as 00h de dia 16. A temperatura do ar aumenta durante o dia e diminui durante a noite (aquecimento diurno e arrefecimento nocturno). Verifica-se também uma variação da temperatura de ponto de orvalho. Esta aumenta desde as 00h até às 12h (de  $16^{\circ}\text{C}$  para  $20^{\circ}\text{C}$ ) ilustrando o aumento do conteúdo de vapor de água demonstrado anteriormente. No entanto, ocorre nova diminuição para  $16^{\circ}\text{C}$  às 23h, sendo que esta diminuição deverá ocorrer pelo facto de haver condensação de vapor de água devido ao arrefecimento nocturno (linhas da temperatura e temperatura de ponto de orvalho variam de forma idêntica e estão próximas). A pressão atmosférica apresenta tendência para diminuir entre as 00h e as 14h, voltando a subir um pouco desde as 19h até às 00h de dia 16. A forma como os parâmetros analisados na análise horária variam não aponta para a passagem de uma frente quente durante este dia no Funchal. Verifica-se no que ocorreu um aumento considerável do conteúdo de



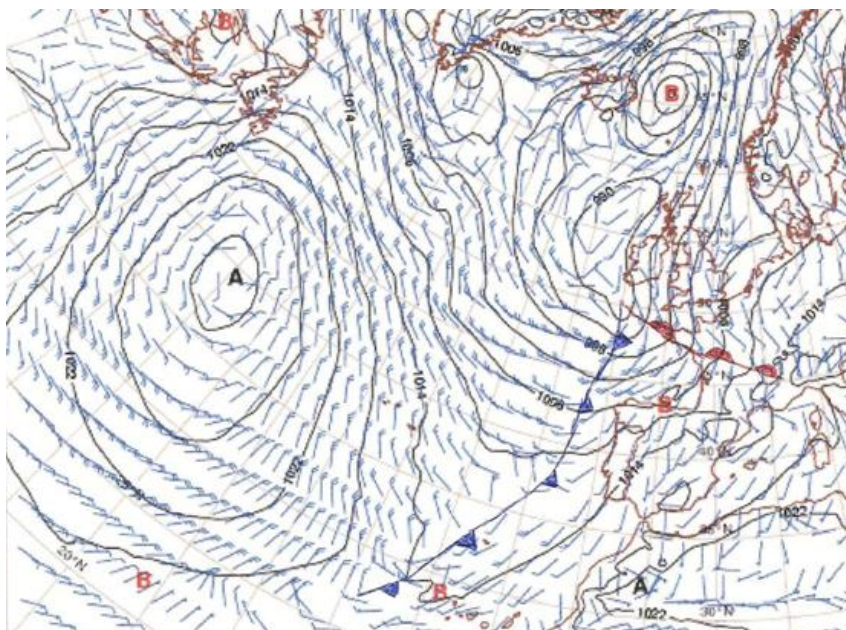
vapor de água, (massa de ar mais húmida) mas não de forma brusca num curto espaço de tempo. De referir que em Faro e no Funchal se registou uma amplitude térmica diurna reduzida (cerca de 5°C) devido à proximidade do mar.

Em Lisboa, de acordo com as Figuras A-43 e A-44, ocorreu precipitação entre as 00h e as 3h, com pico à 01h e entre as 15h e as 00h do dia 16. Esta precipitação ocorreu devido à passagem da frente quente e aproximação da frente fria identificadas. A intensidade do vento aumentou nas primeiras horas do dia, oscilando entre cerca de 12nós a 18nós até cerca das 21h, voltando depois a diminuir até às 00h de dia 16. A pressão atmosférica oscila um pouco, embora apresente tendência para diminuição (sobretudo entre as 00h e as 02h, devido à passagem da frente quente e entre as 11h e as 15h), até às 15h, mantendo-se constante até às 21h, para depois começar a subir ligeiramente. O valor da temperatura de ponto de orvalho aumenta entre as 00h e as 02h devido à passagem da frente quente, sendo aproximadamente constante ao longo do dia, começando a diminuir ligeiramente a partir das 21h. A temperatura aumenta cerca de 2°C entre as 00h e as 02h (altura do dia em que, devido ao aquecimento nocturno deveria estar a diminuir) devido à passagem da frente, apresentando depois uma ligeira variação devido ao aquecimento diurno e arrefecimento nocturno. Essa variação é reduzida (cerca de 6°C) devido à proximidade ao mar e pelo facto de o céu estar nublado. A direcção do vento foi aproximadamente sul/sudoeste (excepto às 00h onde foi de sudeste), rodando ligeiramente mais para a oeste a partir das 21h. A mudança de direcção da velocidade do vento entre as 00h e a 01h comprova a passagem da frente quente. Os parâmetros analisados apontam para a passagem da frente quente em Lisboa aproximadamente entre cerca das 00h e 02h.

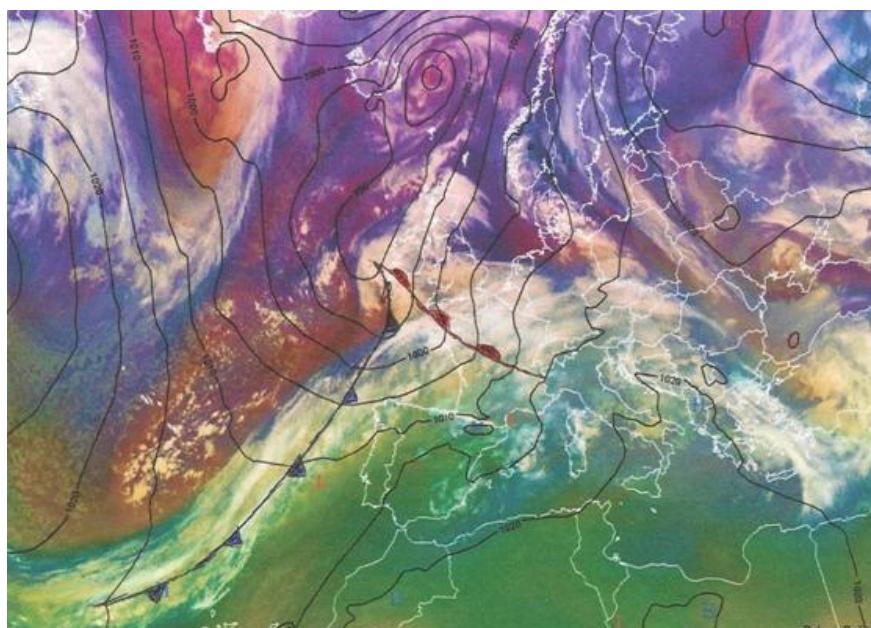
No Porto, a observação das Figuras A-45 e A-46 mostra que ocorreu precipitação a quase todas as horas do dia (antes e depois da passagem da frente), chegando a ocorrer valores relativamente elevados (superiores a 10mm/h) a algumas horas do dia. Quanto ao vento, a sua direcção varia de aproximadamente sudeste/leste às 5h para sul, permanecendo essa direcção dominante até às 00h de dia 16. A direcção do vento aumenta até aproximadamente meio do dia (devido à maior proximidade das isóbaras entre si), voltando a diminuir a partir das 17h. A temperatura do ar varia pouco ao longo do dia (pelo facto de o céu estar encoberto), mas regista um aumento brusco de cerca de 3°C às 5h da manhã, numa altura do dia em que a temperatura deveria estar a diminuir devido ao arrefecimento nocturno. Também o valor da temperatura de ponto de orvalho praticamente não varia ao longo do dia, excepto às 5h, onde ocorre um aumento também de cerca de 3°C. A pressão atmosférica regista uma diminuição acentuada (de 7hPa) entre as 00h e as 6h, sendo praticamente constante até às 13h, hora em que volta a aumentar ligeiramente. Os parâmetros analisados mostram que foi entre cerca das 5h e 6h que a frente quente passou na cidade do Porto.

## **Segunda-feira, dia 16 de Novembro, 00h:**

Às 00h visualizam-se nas Figuras 8 e 9 duas frentes que foram traçadas: uma frente quente a Norte da Península Ibérica (parte sobre o mar, parte sobre França) e uma frente fria a oeste da Madeira e do Continente. Em relação às 12h de dia 15 como se verifica nas Figuras 6 e 7, a frente quente continua a deslocar-se para norte. A frente fria deslocou-se ligeiramente para leste na zona da Madeira, estando agora muito próximo dessa Ilha. No entanto, perto da Península Ibérica a frente fria quase não se deslocou para leste (deslocou-se essencialmente de sudoeste para nordeste) mantendo-se a noroeste da Península Ibérica. Às 12h de dia 15 verificava-se também que existiam duas frentes frias. Existindo às 00h deste dia apenas uma, significa que a frente que estava mais a oeste alcançou a frente que estava mais a leste.



**Fig.8:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF) + frentes, dia 16 às 00h



**Fig.9:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar + frentes, dia 16 às 00h

As Figuras A-47, A-48 e A-49 mostram que a nebulosidade associada à frente continua a ter direcção sudoeste/nordeste. A Figura A-47 mostra que o Continente continua em sector quente, sendo que a parte noroeste da Península Ibérica continua a ser afectada pela nebulosidade associada à frente fria. Sobre a Madeira, o céu já se encontra encoberto pela nebulosidade associada à mesma frente. No entanto, através da Figura A-47 (devido à presença de nuvens) não se consegue localizar exactamente onde a frente fria se encontra. A Figura A-48 mostra a nebulosidade associada à frente sobre a Madeira, mostrando também que existe vapor de água na alta troposfera sobre a região do Continente. Verifica-se igualmente ar seco (associado à corrente de jacto) a leste da nebulosidade associada à frente fria. A Figura A-49 mostra também que a parte noroeste da Península Ibérica e a Madeira estão já encobertos pela nebulosidade associada à frente. Nessa banda nebulosa existem nuvens de topo mais quente (cinza/branco) e de topo relativamente frio (amarelo/verde).

Comparando esta imagem com a mesma imagem de satélite do dia anterior às 12h, verifica-se que a zona de forte instabilidade a oeste de Cabo Verde já se dissipou.

Analisando os tefigramas das Figuras A-50 a A-53, verifica-se que o índice CAPE aponta para uma atmosfera pouco instável nas quatro cidades e o índice LI para uma atmosfera estável. No Porto a atmosfera encontra-se potencialmente instável desde o solo até cerca de 700hPa, em Faro entre cerca de 950hPa e 850hPa existe CAPE mas acima dos 850hPa a atmosfera está bastante estável (tal como no Porto, acima dos 700hPa). O Funchal é a cidade que apresenta uma atmosfera mais instável, pois apresenta CAPE desde próximo da superfície até cerca de 650hPa. Em Lisboa não se obteve a linha da trajectória da parcela. A Figura A-54 mostra apenas 44 descargas entre as 00h e as 12h deste dia, sendo que a esmagadora maioria destas ocorre sobre o mar, longe da costa. No entanto são registadas algumas descargas perto de Lisboa e perto do Algarve. No entanto, deverá ter havido algum erro na detecção destas descargas, pois estas aparecem em zonas onde nas imagens de satélite o céu está pouco nublado ou limpo.

Comparando os tefigramas das 12h de dia 15 com os das 00h de dia 16, pode-se afirmar que poucas alterações se registaram nas 4 cidades, uma vez que todas se mantêm em sector quente. Em todas elas o conteúdo de vapor de água variou pouco, tendo o valor de TPW aumentado ligeiramente em Faro e no Funchal; ao passo que em Lisboa e no Porto diminuiu ligeiramente. A nível de temperatura também se verificam poucas variações, registando-se uma ligeira diminuição de temperatura junto ao solo (entre cerca de 1000hPa e 850hPa) devido ao arrefecimento nocturno (só em Faro é que esta diminuição é pouco perceptível). De referir ainda que em Lisboa, Porto e Funchal, entre aproximadamente 800hPa e 600hPa a temperatura diminuiu um pouco. Esta diminuição é causada pela aproximação do vale térmico em altitude, que possui ar mais frio, como se mostra (aos 700hPa) através da comparação entre as Figuras A-55 e A-56. Também na humidade relativa não se registam grandes alterações, mantendo-se esta bastante elevada em todas as cidades junto ao solo (desde 1000hPa até cerca de 800hPa), sendo mais baixa na restante troposfera. De referir que na cidade do Porto a humidade relativa é elevada em toda a troposfera, sendo de quase 100% desde os 1000hPa até cerca de 500hPa, sendo também de quase 100% desde os 1000hPa até cerca de 650hPa no Funchal e mesmo de 100% (linha da temperatura de ponto de orvalho sobreposta à da temperatura) em Lisboa entre os 1000hPa e cerca de 850hPa. A pequena variação do conteúdo de vapor de água associada à diminuição de temperatura entre cerca 1000hPa e 850hPa por arrefecimento nocturno e entre cerca de 850hPa e cerca de 600hPa devido à aproximação do vale em altitude explicam os elevados valores de humidade relativa entre esses níveis nas 3 cidades referidas.

A Figura A-57 mostra que o vale identificado às 12h de dia 15 se mantém a oeste/sudoeste de Portugal Continental embora um pouco mais a leste. Verifica-se que a depressão a oeste das ilhas britânicas está menos cavada (pressão no centro aumentou) em relação às 12h de dia 15 e que sobre o Continente, o gradiente de pressão é menos acentuado que às 12h de dia 15. Comparando com as 12h de dia 15, a pressão aumentou ligeiramente na parte norte do País, tendo diminuído um pouco na parte sul. A esta hora, no entanto, o traçado da frente fria a noroeste da Península Ibérica não é tão fácil pois a variação da direcção do vento não é muito clara. Na Madeira a pressão diminui ligeiramente entre as 12h de dia 15 e as 00h de dia 16 devido à aproximação do referido vale. Na Figura A-58 vê-se que a nebulosidade associada a frente fria já alcançou a Madeira.

Analisando a Figura A-59 constata-se, como já mencionado no anterior parágrafo, o menor gradiente de pressão entre o norte e o sul do País, o que naturalmente se traduz numa diminuição da intensidade do vento, essencialmente na parte norte do País, onde às 12h de dia 15, o gradiente de pressão era maior. Também aqui se vê, tal como na Figura A-60, que a direcção predominante do vento é de sudoeste/sul em todo o País, tal como às 12h de dia 15, o que sugere que todo o território do Continente se mantém em sector quente. Verifica-se uma diminuição da temperatura e da temperatura de ponto de orvalho em quase todas as estações. A diminuição de temperatura deve-se ao arrefecimento nocturno (e não à passagem de uma frente fria). A diminuição da temperatura de ponto de orvalho, que se verifica sobretudo nas estações do centro e norte, ocorre pois com o arrefecimento nocturno uma pequena parte do vapor de água deve ter condensado. Na Madeira, de acordo com a Figura A-61, a direcção do vento mantém-se predominantemente de sudoeste, ao

passo que também a temperatura diminui ligeiramente devido ao arrefecimento nocturno. Também se regista uma ligeira diminuição no valor da temperatura de ponto de orvalho pelo facto de ocorrer condensação de vapor de água devido. Tais observações indicam também que a Madeira se mantém em sector quente.

Olhando agora para a Figura A-62, constata-se mais uma vez, que o vale em altitude ainda não passou. A corrente de jacto encontra-se já sobre a parte noroeste da Península. Verifica-se, que tanto o Continente como a Madeira se mantêm em sector quente. No entanto, a zona de advecção fria está a oeste mas já muito próxima da Madeira, o que indica que a frente fria (aos 500hPa) está também próxima da Madeira. A zona de advecção fria está igualmente a oeste (e noroeste) do Continente, estando mais próxima da parte norte do País. A Figura A-63 mostra que sobre o Portugal Continental só ocorre advecção quente na parte sul e a sul do Algarve, sendo esta aproximadamente nula no restante território do Continente e também na zona da Madeira. A zona máxima de advecção fria aos 850hPa encontra-se a norte e a oeste do Continente e também a oeste da Madeira, o que também sugere que a frente fria, a esta altitude, ainda não passou.

A Figura A-64 mostra que tanto a Madeira como o Continente se mantêm em sector quente, estando o sector frio a oeste do Continente e Madeira. Verifica-se, quando comparando com as 12h de dia 15, que o sector frio está mais próximo da Madeira, mantendo-se mais ao menos à mesma distância em relação à parte noroeste do Continente. Isto significa que a frente fria se move em direcção a leste na zona Madeira, sendo que praticamente não se move para leste na zona do Continente (move-se essencialmente de sudoeste para nordeste). Na zona sul do País o valor de  $\theta_{sw}$  aos 850hPa aumentou ligeiramente, quando comparado com as 12h de dia 15, sendo que isto aconteceu, como se constata no tefigrama, pois ocorreu um ligeiro aumento do conteúdo do vapor de água, e não devido a um aumento de temperatura.

Finalmente, a Figura A-65 mostra mais uma vez uma “isolinha” de movimentos verticais ascendentes com direcção sudoeste/nordeste, logo seguida por uma “isolinha” de movimentos verticais descendentes com a mesma direcção. A zona de transição entre as duas “isolinhas” (de movimentos ascendentes para descendentes) aproximou-se da Madeira (quando comparado com as mesmas imagens às 12h de dia 15), mantendo-se, no entanto à mesma distância em relação ao Continente. Isto significa que a frente deverá passar na Madeira nas próximas horas.

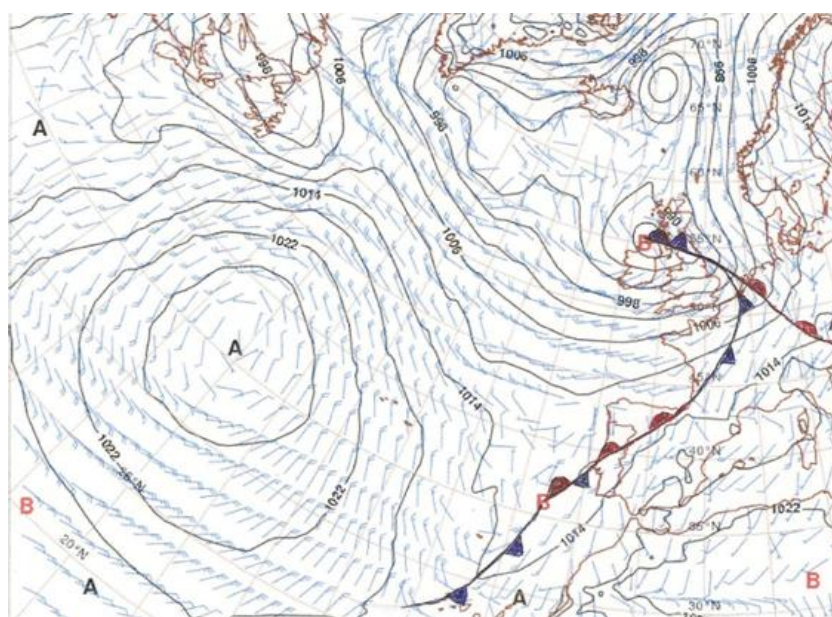
## **Segunda-feira, dia 16 de Novembro, 12h:**

As Figuras 10 e 11 mostram que a frente fria já passou na Madeira e que a parte noroeste do Continente está em sector frio, ao passo que o resto do País permanece em sector quente. Comparando com as 00h, verifica-se o aparecimento de uma frente oclusa sobre as Ilhas Britânicas e que a frente quente (na Europa) se deslocou para noroeste, estando a esta hora sobre a Alemanha. A frente fria, tanto na zona da Madeira como do Continente deslocou-se ligeiramente para leste, tendo já passado na Madeira e na parte noroeste da Península. Verifica-se que perto de Lisboa e a sudoeste de Sagres se formam mínimos de pressão, sendo que a noroeste destes mínimos a frente que anteriormente era fria passou a frente quente (discutido adiante). É também visível, sobretudo na Figura 11 pela diminuição de nebulosidade, que na parte noroeste de França a frente parece estar a dissipar.

A Figura A-66 mostra que quase toda a Península Ibérica se encontra em sector quente, estando a sua parte noroeste coberta por nuvens. Sobre a Madeira encontra-se nebulosidade mais alta associada à frente fria (cor branca). Verifica-se também que perto da Península Ibérica a nebulosidade associada à frente praticamente não se moveu para leste, continuando a movimentar-se de sudeste para nordeste (em relação às 00h). Perto do noroeste de França, existe uma zona com menos nebulosidade, onde a frente parece estar a dissipar. Para esta hora não se conseguiu obter a imagem HRIT\_IR\_108. Na Figura A-67 verifica-se igualmente a nebulosidade associada à frente sobre a Madeira e a noroeste do Continente, vendo-se também que na alta troposfera existe alguma quantidade de vapor de água (cinzento) sobre a Península Ibérica. No entanto, desde a parte noroeste de África até quase ao Algarve verifica-se que o ar na alta troposfera está muito seco que neste caso não está associado à corrente de jacto. A zona de ar seco associada à corrente de jacto



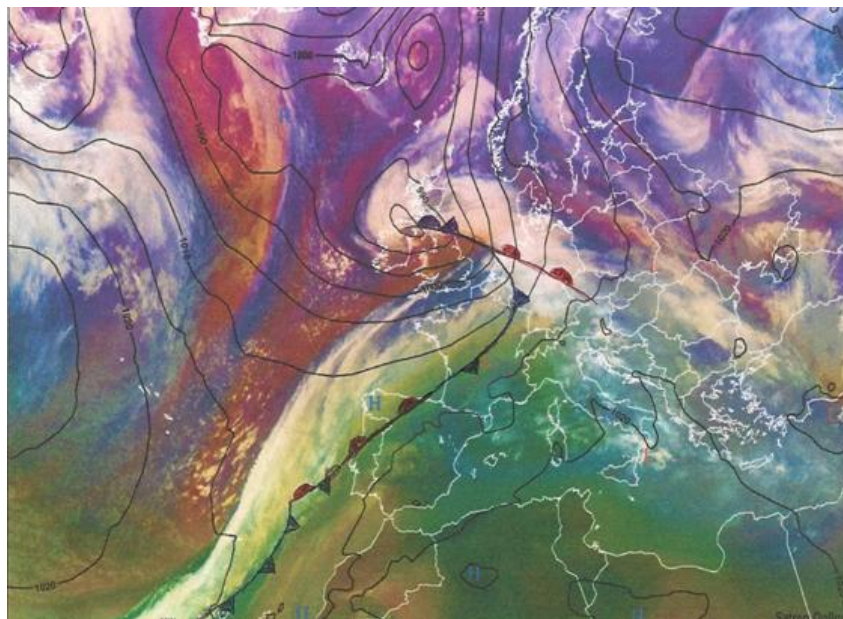
parece estar a sudoeste de Cabo Verde. A Figura A-68 permite ver toda a nebulosidade (baixa e alta) associada à frente (nas anteriores imagens as nuvens baixas não eram tão visíveis). Verifica-se que na parte sul do Continente o céu está pouco nublado, ao passo que o centro e o norte estão encobertos, vendo-se igualmente nuvens de montanha, de aspecto ondulado, no interior da Península. Na Madeira também se vê que o céu está encoberto, vendo-se igualmente bem a nebulosidade de pós-frontal (cúmulos) a oeste da Ilha. No entanto, esta imagem não dá para ver qual a altitude do topo das nuvens pois todas possuem a mesma tonalidade. As Figuras A-69 e A-70 permitem já distinguir entre nuvens de topo mais baixo e mais alto. Verifica-se que a nebulosidade que cobre a parte noroeste da Península é essencialmente média/baixa pois apresenta tom amarelo na Figura A-69 e tom predominantemente branco na Figura A-70, o que significa que os seus topos são constituídos essencialmente por água líquida. Sobre a Madeira e a oeste da Península a nebulosidade é mais alta e/ou apresenta maior espessura pois aparece em tom predominantemente branco na Figura A-69 e predominantemente azul claro na Figura A-70. Por fim, a Figura A-71 mostra que não existe nenhuma zona de forte instabilidade, pois não é detectado nenhum overshooting.



**Fig.10:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF) + frentes, dia 16 às 12h

Os tefigramas das Figuras A-72 a A-75 mostram que os valores de CAPE apontam para uma atmosfera pouco instável nas quatro cidades, ao passo que o LI aponta para uma atmosfera maioritariamente estável (embora próximo de 0°C em Lisboa) em Lisboa, Faro e Funchal, apontando para uma atmosfera muito estável no Porto. No Porto a atmosfera encontra-se potencialmente instável desde o solo até cerca de 900hPa estando muito estável acima desta altitude. No Funchal a atmosfera encontra-se potencialmente instável ou um pouco instável desde o solo até cerca de 750hPa, estando estável a partir desta altitude. Em Lisboa a atmosfera está potencialmente instável ou mesmo ligeiramente instável desde o solo até cerca de 500hPa. Faro é a cidade que apresenta maior instabilidade pois possui maior valor de CAPE e um valor de CINE de -105J/kg (ideal para a ocorrência de tempestades). No entanto, a ausência de nuvens e de mecanismo de subida de ar (frentes ainda estão muito longe) explicam porque é que, mesmo com uma atmosfera um pouco mais instável não ocorrem trovoadas (perto das 12h). Na Figura A-76 são detectadas muitas descargas entre as 12h e as 24h no Continente. Mas como a esmagadora maioria ocorre perto das 00h de dia 17, será feita a análise recorrendo aos tefigramas dia 17 às 00h. Ainda assim, são detectadas algumas descargas na zona de Lisboa perto das 12h, pois a frente está perto

de Lisboa (mecanismo de subida de ar) e o tefigrama mostrava que a atmosfera estava potencialmente instável ou mesmo um pouco instável desde o solo até cerca de 500hPa.



**Fig.11:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar + frentes, dia 16 às 12h

Verifica-se ainda que em Faro e em Lisboa a temperatura às 12h é maior junto ao solo (entre cerca de 1000hPa e 850hPa), devido ao aquecimento diurno, registando uma diminuição desde cerca de 800hPa até cerca de 250hPa, sendo mais acentuada (em alguns níveis superior a 5°C no tefigrama de Faro) entre cerca de 800hPa e cerca de 500hPa. O aquecimento diurno junto ao solo e o arrefecimento do ar entre cerca de 800hPa e cerca de 500hPa (devido à aproximação do vale térmico em altitude) é que contribuem para tornar a atmosfera menos estável, aumentando assim o CAPE e diminuindo um pouco o LI. O conteúdo de vapor de água aumentou ligeiramente nas duas cidades. A humidade relativa diminui junto ao solo devido ao aquecimento diurno (ainda assim permanecendo elevada em Lisboa), tendo aumentado entre cerca de 800hPa e 550hPa devido ao arrefecimento que aí ocorre. A partir de cerca de 450/500hPa a humidade relativa pouco varia entre as 00h e as 12h (pois aí as variações de temperatura e conteúdo de vapor de água são muito pequenas).

No Porto e no Funchal regista-se uma diminuição da temperatura desde cerca de 1000hPa até cerca de 250hPa. No Porto, esta diminuição é mais notória junto ao solo (desde cerca de 1000hPa até cerca de 800hPa), onde seria de esperar um aumento de temperatura devido ao aquecimento diurno. No Funchal, a diminuição de temperatura não só se nota junto ao solo, como também na troposfera média. O conteúdo de vapor de água diminuiu nas duas cidades. A diminuição da temperatura (junto ao solo) e a diminuição do TPW sugerem que a frente fria passou nestas cidades entre as 00h e as 12h. A diminuição da temperatura na troposfera média registada nas duas cidades ocorre devido à aproximação do vale térmico em altitude. No Porto, a humidade relativa mantém-se sempre muito elevada até cerca de 550hPa, sendo que a níveis superiores diminuiu em relação às 00h. No Funchal, a humidade relativa aumentou em quase toda a troposfera, excepto junto ao solo. De referir ainda que no Porto e no Funchal a atmosfera está mais estável do que em Lisboa e Faro, pois apesar da temperatura do ar ter diminuído em altitude (devido à aproximação do vale), diminuiu também próximo do solo, devido à passagem da frente fria (em Faro e em Lisboa a frente ainda não passou junto ao solo a esta hora).

A Figura A-77 mostra que o vale se deslocou ligeiramente para oeste e que se formou um mínimo de pressão perto de Lisboa. Vê-se também que o gradiente de pressão no Continente é menor que às 00h, pois verifica-se que na parte norte do País a pressão aumentou, não tendo

praticamente variado no sul. A variação da direcção do vento devido à passagem da frente é mais clara sobre o mar. Na Madeira em relação às 00h a pressão também aumentou, pois o anticiclone que se encontra sobre o Atlântico, embora esteja mais fraco que às 00h pois a sua pressão no centro diminuiu, aproximou-se da Madeira. A Figura A-78 mostra a nebulosidade associada às frentes (oclusa) a oeste das Ilhas Britânicas, à frente quente na Alemanha e à zona (perto do noroeste de França) onde a frente parece estar a dissipar. Devido ao fraco gradiente de pressão junto ao Continente e à presença de nebulosidade, torna-se difícil, apenas recorrendo a esta figura, traçar a frente. Nesta situação, os restantes dados são fundamentais para saber com mais rigor onde se encontra a frente.

A Figura A-79 ajuda a localizar as frentes através da mudança de direcção do vento. Consegue-se ver bastante bem a mudança de direcção do vento de sudoeste para noroeste, sobretudo sobre o mar. Existe também um mínimo de pressão de pouco menos de 1010hPa perto de Lisboa. O vento é mais intenso na parte sul e interior do País, onde o gradiente de pressão é maior. O aparecimento deste mínimo de pressão e suas consequências será discutido posteriormente. Vê-se também, através da direcção do vento, que a parte noroeste do País está em sector frio, estando o resto do País em sector quente. A variação da direcção do vento também se detecta na Figura A-80, vendo-se também, apesar dos efeitos de mesoscala, diferenças de temperatura e temperatura de ponto de orvalho (valores mais baixos na parte noroeste e mais elevados no resto do País). Na Madeira, como se observa na Figura A-81 a componente dominante do vento é de noroeste, sendo que a temperatura e a temperatura de ponto de orvalho diminuiriam ligeiramente em quase todas as estações, comprovando-se assim a passagem da frente fria na Madeira.

A Figura A-82 mostra que o vale em altitude (500hPa) ainda está a passar sobre a Madeira, não tendo ainda passado sobre o Continente. Parte da corrente de jacto encontra-se sobre o noroeste do Continente. A mesma figura mostra que sobre a Madeira o ar está já mais frio, ocorrendo aí advecção fria. Sobre o Continente, parece não ocorrer advecção quente ou fria, verificando-se que aí ainda se está em sector quente. Sobre a Madeira, apesar de existir ar frio em altitude, como a frente fria já passou junto ao solo, a atmosfera apresenta pouco instabilidade. No Porto a frente fria já passou, mas ainda existe ar quente em altitude, o que faz com que a atmosfera esteja muito estável. Sobre Lisboa e Funchal, apesar de em superfície ainda se estar em sector quente, a presença de ar quente em altitude faria com que a atmosfera estivesse estável. O que torna a atmosfera menos estável nestas duas cidades é a presença de ar um pouco mais frio em torno dos 700hPa (ver tefigramas e comparar Figuras A-83 e A-56). A Figura A-84 mostra que a zona de máxima advecção fria já passou (está a leste) da Madeira, o que comprova que a esta altitude (850hPa) o ar frio já passou. Na zona do Continente, em quase todo o País ocorre advecção quente, excepto sobre o Minho e Galiza. Isto significa que a esta altitude praticamente ainda não entrou ar frio sobre o Continente, ao contrário do que se registou à superfície. De realçar que a advecção fria a esta altitude associada à frente é mais intensa na zona da Madeira do que na zona de Continente.

A Figura A-85 mostra que a Madeira está já em sector frio, ao passo que quase todo o Continente, excepto a parte noroeste, se mantém em sector quente. De realçar também o aumento de  $\theta_{sw}$  sobre o Algarve, que ocorreu devido ao aumento do conteúdo de vapor de água (que se verificou também através do aumento do TPW nos tefigramas).

A Figura A-86 mostra que a zona de transição entre movimentos ascendentes e descendentes aos 700hPa está um pouco a oeste da Madeira. Na zona do Continente a transição entre movimentos ascendentes e descendentes ocorre aproximadamente na parte noroeste da Península Ibérica. A análise da posição da frente em superfície e diferentes altitudes permite verificar que a frente aparece primeiro junto ao solo e depois sucessivamente em altitudes superiores, como especificado nos modelos teóricos mais simples.

## **Segunda, dia 16 de Novembro, análise hora-a-hora:**

Em Faro a observação das Figuras A-87 e A-88 mostra que não se registou precipitação ao longo de todo o dia, sendo a direcção do vento predominantemente de sudeste. A sua intensidade também varia pouco ao longo do dia, pois como já visto, o gradiente de pressão também variou

pouco. A intensidade máxima ocorre durante a tarde, talvez devido ao efeito de brisa. A temperatura aumenta durante o dia (aquecimento devido à radiação solar), diminuindo durante a noite (arrefecimento nocturno) sendo a amplitude térmica de apenas cerca 4°C, devido à proximidade ao mar. A temperatura de ponto de orvalho varia muito pouco, aumentando ligeiramente até às 10h, para depois diminuir lentamente até às 00h de dia 17. A pressão atmosférica oscilou um pouco ao longo do dia.

No Funchal não foram recolhidos dados de precipitação. No entanto, as imagens de satélite (especialmente as das 12h) mostram a presença de nuvens associadas à frente que devem ter provocado precipitação. Verificou-se também no Funchal, pela análise das Figuras A-89 e A-90 uma brusca mudança na direcção do vento por volta das 6h, sendo que até aí soprava predominantemente de sudoeste, passando depois a soprar predominantemente de norte/noroeste. A velocidade do vento oscila muito ao longo do dia, apresentando um mínimo às 6h e máximo às 7h (aumento brusco após a passagem da frente). O valor da temperatura de ponto de orvalho apresenta tendência para diminuição ao longo do dia, sendo que a diminuição máxima (de 4°C) em 1 hora ocorreu entre as 6h e as 7h. Nesse espaço de tempo, a temperatura diminuiu apenas 1°C (apesar de ser quase sempre constante nas horas anteriores). Durante o dia a temperatura aumenta ligeiramente voltando depois a diminuir à noite. A presença de nuvens e proximidade do mar explicam a reduzida amplitude térmica. A pressão atmosférica apresenta tendência ligeira de descida até às 6h, oscila um pouco entre as 6h e as 7h30, começando depois a aumentar. Dos parâmetros analisados, parece claro que a frente fria passou entre as 6h e as 7h (só no caso da temperatura isso é que é pouco evidente).

Em Lisboa, como se mostra nas Figuras A-91 e A-92 ocorreu precipitação a algumas horas do dia, tendo-se registado um máximo de 10mm/h entre as 15 e as 16h. O vento soprou predominantemente de sul até às 20h, tendo às 21h rodado para noroeste. Durante algumas horas do dia não se registou a sua direcção (por ser muito fraco). A intensidade do vento aumentou ao longo do dia com máximos entre as 9h e as 13h e depois às 19h. A temperatura aumenta durante o dia, diminuindo durante a noite, sendo que se regista uma diminuição brusca de 4°C entre as 20h e as 21h. A temperatura de ponto de orvalho pouco variou até às 6h, aumenta ligeiramente entre as 6h e as 8h (evaporação da água líquida condensada durante a noite), sendo depois quase constante até às 20h. Entre as 20h e as 21h há também uma diminuição brusca do seu valor (3,5°C). A pressão atmosférica apresenta tendência para descida até cerca das 19h, começando depois a subir bruscamente. Todos os parâmetros apontam para a passagem da frente fria em Lisboa por volta das 19h/20h.

No Porto, como se verifica nas Figuras A-93 e A-94, ocorreu precipitação durante quase todo o dia (antes e depois da passagem da frente), embora não de forma contínua, ocorrendo mais precipitação durante algumas horas, menos noutras e registando-se ainda horas sem precipitação. Regista-se uma variação da direcção do vento entre as 5h e as 6h. Até às 5h o vento soprava predominantemente de sul, passando depois a soprar predominantemente de norte. A intensidade do vento oscila ao longo do dia. De referir que às 12h, onde o gradiente de pressão era muito fraco, como se viu nas cartas de superfície, a intensidade do vento é quase nula. A temperatura diminui nas primeiras horas do dia (arrefecimento nocturno) mas apresenta uma diminuição mais acentuada entre as 5h e as 7h. Durante o dia volta a subir, mas muito ligeiramente (aquecimento diurno), voltando depois a diminuir ligeiramente. Não só a proximidade ao mar como a cobertura de nuvens, explicam a reduzida amplitude térmica. A temperatura de ponto de orvalho diminui ligeiramente até às 5h (por condensação), tendo depois uma diminuição brusca entre as 5h e as 7h, sendo aproximadamente constante durante o resto do dia. A pressão atmosférica oscila ao longo do dia. Aqui todos os parâmetros apontam para a passagem da frente fria por volta das 5h/6h. O único parâmetro onde isto não é tão evidente é a pressão atmosférica (que oscila ao longo do dia). Ainda assim ocorre um aumento brusco de pressão após a passagem da frente.

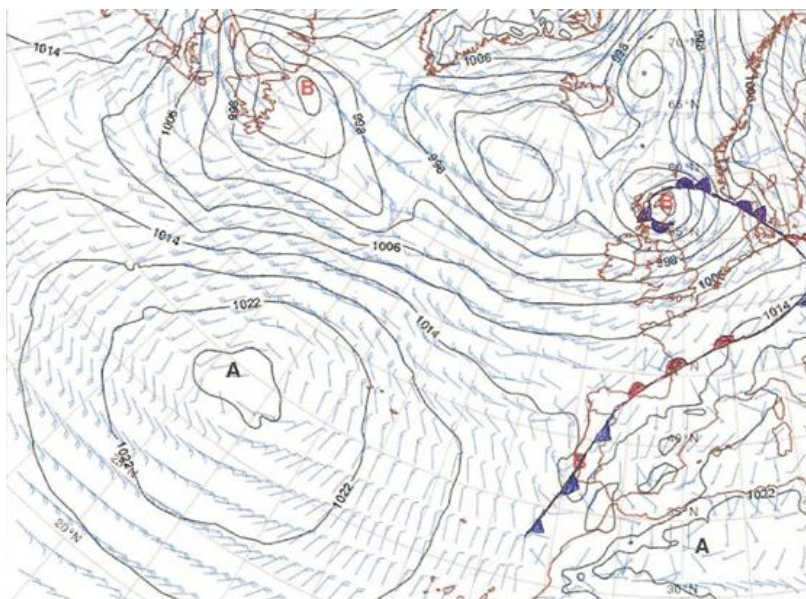
Para perceber melhor o que aconteceu neste dia, há que analisar mais detalhadamente o aparecimento de um mínimo de pressão às 12h perto de Lisboa. Nas Figuras 10 e 11 pode-se ver que esse mínimo de pressão (o mínimo mais a noroeste) se formou aproximadamente sobre as frentes identificadas. Como o ar circula no sentido anti-horário em torno desse mínimo de pressão,



significa que a sudoeste desse mínimo o vento terá componente dominante de noroeste, o que faz com o ar frio se mantenha a deslocar em direcção ao ar quente (frente fria). A nordeste desse mínimo o vento tenderá a ter componente dominante de sudeste. Por outras palavras, isto faz com que o ar quente se desloque em direcção ao ar frio. Sabe-se também que antes das 12h passou uma frente fria no Porto. Então, com o aparecimento desse mínimo de pressão e consequente mudança do vento dominante, o ar frio deixa de se deslocar em direcção ao ar quente, passando a ocorrer o contrário. Assim sendo, a frente fria que passou no Porto tornou-se numa frente quente, devido ao aparecimento do referido mínimo de pressão na zona de transição entre ar quente e frio. O aparecimento desta depressão deu então origem a uma frente com ondulações. A mudança de direcção dominante do vento, que empurra a frente mais para sudeste ou noroeste, explica porque é que esta demora muito a passar na zona do Continente, explicando também porque é que não ocorre precipitação de forma contínua no Porto. Ainda assim, como mostra a análise horária, o Porto nunca volta a estar novamente em sector quente. As análises das 00h de dia 17 poderão confirmar se isso chega ou não a acontecer.

### Terça, dia 17 de Novembro às 00h:

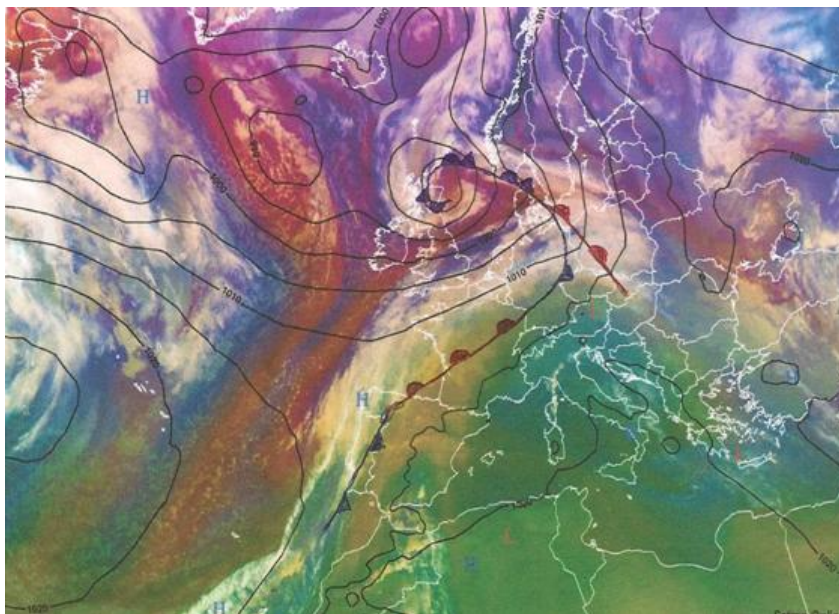
As Figuras 12 e 13 mostram que às 00h a frente fria se encontra sobre Portugal Continental, tendo-se deslocado um pouco para sudeste em relação às 12h do dia 16. A figura mostra que a frente oclusa e a frente quente continuam a mover-se para nordeste, localizando-se na perto da Polónia (frente quente) e no sul da Noruega, Suécia e norte das ilhas Britânicas (frente oclusa). Na zona noroeste de França e Alemanha a nebulosidade continua a diminuir.



**Fig.12:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF) + frentes, dia 17 às 00h

As Figuras A-95, A-96 e A-97 mostram que a nebulosidade associada à frente ainda se encontra sobre o Continente, estando já a oeste da Madeira. Sobre o Continente, vê-se também que essa nebulosidade se deslocou um pouco mais para sudeste, afectando quase todo o País (excepto a parte sudeste). A Figura A-95 mostra claramente que a Madeira está em sector frio. Sobre o Continente, apenas com a informação desta imagem não se consegue ver se se está em sector frio ou quente (devido à presença de nuvens). A Figura A-96 mostra a existência de ar mais seco no interior norte de Espanha. A presença de nuvens altas sobre o Continente dificulta a visualização de vapor de água em altitude. Ainda assim parece aí existir um elevado conteúdo de vapor de água na alta troposfera. Sobre a Madeira também existe elevado conteúdo vapor de água na alta troposfera, embora a leste se veja uma zona de ar seco associada à corrente de jacto. A Figura A-97 ilustra uma

banda de nuvens com topo relativamente frio e com direcção norte/sul, afectando quase todo o litoral, sendo que o topo das nuvens que estão mais no interior do País é mais quente.



**Fig.13:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar + frentes, dia 17 às 00h

Como já referido anteriormente, o detector regista bastantes descargas eléctricas atmosféricas nas últimas horas de dia 16, como indica a Figura A-76 e nas primeiras de dia 17, como se verifica na Figura A-102. Estas ocorrem em elevado número em quase todo o País, excepto no norte e no sudeste Alentejano e Algarvio. Isto significa que a atmosfera esteve instável nos locais onde se registaram muitas descargas. As horas a que as descargas eléctricas estão registadas nas Figuras A-76 e A-102 ajudam a perceber o movimento das frentes. Na Figura A-76 vê-se que ocorrem descargas entre as 16h e as 18h essencialmente no noroeste do distrito de Portalegre e no distrito de Castelo Branco. Entre as 18h e as 20h a grande maioria das descargas ocorre nos distritos de Coimbra, Leiria e Viseu, vendo-se que a zona em que estas ocorrem se deslocou (em relação ao período entre as 16h e 18h) para noroeste (movimento da ondulação para noroeste). De referir que a orografia também poderá ter influência na localização das descargas registadas. Ainda na Figura A-76 vêm-se muitas descargas (entre as 22h e as 00h) na zona de Lisboa, oeste do Alentejo e Algarve, o que indica que nestas zonas a frente se deslocou para sudeste (às 12h de dia 16 a frente estava a noroeste de Lisboa). Na Figura A-102 verifica-se que entre as 00h e as 2h a esmagadora maioria das descargas ocorre na “linha” Sagres-Guarda, o que indica que essa deverá ser a posição aproximada da frente a essas horas. Ocorrem depois, entre as 3h e as 8h descargas no interior/centro do País e já em Espanha. Essas descargas vão sendo registadas mais a leste, à medida que o tempo passa, sugerindo assim que a frente se deslocou para leste. A partir das 8h deixam de se detectar descargas, o que sugere que a frente poderá estar a dissipar.

Analisando os tefigramas (Figuras A-98 a A-101) vê-se que o índice CAPE aponta para uma atmosfera pouco instável em Faro, Lisboa e Funchal (embora em Faro o CAPE seja muito mais elevado que nas restantes cidades), ao passo que no Porto aponta para uma atmosfera estável (daí que não se registem descargas no Porto). O índice LI aponta para uma atmosfera estável no Porto, maioritariamente estável em Lisboa e Funchal e instável em Faro. Também em Faro o valor do CINE é ideal para a ocorrência de tempestades. Faro apresenta condições favoráveis para a ocorrência de trovoadas. No entanto, como foi visto nas imagens de satélite, aí o céu está praticamente limpo (frente ainda está longe pelo que não há mecanismo de subida de ar). Assim deverá ter ocorrido algum erro no detector pois são detectadas algumas descargas no sudeste

Algarvio, numa zona de céu limpo ou pouco nublado. No Funchal a atmosfera encontra-se potencialmente instável ou mesmo pouco instável desde o solo até cerca de 700hPa, ao passo que em Lisboa a atmosfera encontra-se potencialmente instável desde o solo até cerca de 550hPa, o que, associado à passagem da frente poderá explicar a ocorrência das descargas registadas perto das 00h de dia 17. Ainda assim, há que ter em conta que os tefigramas apresentados não são tefigramas observados, pelo que os parâmetros apresentados podem não corresponder exactamente ao que na realidade se registou (isto é, na realidade a atmosfera poderá ter estado mais instável do que o indicado no tefograma de Lisboa). Os tefigramas mostram ainda que no Porto e no Funchal se regista uma diminuição de temperatura em quase toda a troposfera (excepto nos níveis mais altos da troposfera) em comparação com as 12h de dia 16. O arrefecimento nocturno e a proximidade do vale térmico em altitude explicam a diminuição de temperatura junto ao solo e na média troposfera, respectivamente. O conteúdo de vapor de água diminui, pois o TPW continua a diminuir nas duas cidades. No Porto a humidade relativa é elevada em toda a troposfera, tendo diminuído ligeiramente na parte mais baixa mas aumentado na parte mais elevada, ao passo que no Funchal a humidade relativa diminui em toda a troposfera.

Como se mostra na Figura A-100, Lisboa registou uma diminuição de temperatura (em comparação com as 12h de dia 16) em quase toda a troposfera, ao passo que em Faro essa diminuição só se registou na média troposfera. A aproximação do vale térmico em altitude explica a diminuição de temperatura na média/alta troposfera nas duas cidades. O arrefecimento junto ao solo em Lisboa deve-se à passagem da frente (cerca das 21h de dia 16) e arrefecimento nocturno. Em Faro o arrefecimento nocturno praticamente não se faz sentir. Também pelo facto de a frente fria não ter passado aí, a temperatura quase não varia próximo do solo entre as 12h de dia 16 e as 00h de dia 17. Em Lisboa, pelo facto de o TPW quase não ter variado (aumento de 28,6mm para 29,9mm) e de a temperatura ter diminuído em quase toda a troposfera, ocorreu um aumento da humidade relativa. Em Faro o TPW diminui. A humidade relativa aumentou na média/alta troposfera mas diminui na média/baixa troposfera.

Para melhor perceber o porquê da instabilidade registada no detector há que analisar outros campos. Mas a presença de ar frio na média troposfera devido à aproximação do vale térmico parece ser um factor importante para a referida instabilidade. A Figura A-103 mostra que, em comparação com as 12h de dia 16, o vale à superfície se continua a deslocar para leste, estando agora sobre o Continente. Também o anticiclone que se encontra no Atlântico, embora com menor pressão no centro, continua a deslocar-se para leste, o que faz com que na região da Madeira a pressão continue a aumentar. Também se regista um gradiente de pressão fraco em quase todo o Continente, excepto na parte sudeste. Quando comparado com a carta de superfície das 00h, verifica-se que a pressão aumenta na parte norte do País ao passo que no sul a pressão quase não variou. A localização mais rigorosa da frente torna-se difícil, mesmo recorrendo à Figura A-104. Isto acontece não só devido ao fraco gradiente de pressão, mas também à presença de nuvens.

As Figuras A-105 e A-106 ajudam a identificar a posição da frente com mais rigor. Na Figura A-105, vê-se que no sul a componente dominante do vento é de sul. No norte, em muitas estações, em especial no litoral não há vento, pelo que não é muito fácil identificar a frente nesta imagem com este parâmetro. Ainda assim, as estações mais a sul as temperaturas e temperatura de ponto de orvalho apresentam, em geral, valores mais elevados do que no litoral norte, o que sugere que a parte noroeste está em sector frio, estando o resto do País em sector quente. Na Figura A-106, vê-se, através da direcção do vento, que a frente estará um pouco a sul de Lisboa, com direcção sudoeste/nordeste, passando também próximo de Bragança. O mínimo de pressão de 1010hPa que às 12h de dia 16 estava perto de Lisboa está agora a nordeste de Trás-os-Montes. Estando o País a sudoeste desse mínimo, a componente dominante do vento será agora de noroeste, o que significa que o ar frio se volta a deslocar em direcção ao ar quente (continua a ser uma frente com ondulações). Assim a zona da ondulação que é identificada como frente quente às 12h de dia 16 (a noroeste de Lisboa), volta novamente a ser uma frente fria. De mencionar ainda que a posição aproximada da frente coincide aproximadamente com os locais de maioria das descargas eléctricas registadas no detector. Por fim, a Figura A-107 comprova que a Madeira se mantém em sector frio,

pois a direcção do vento dominante mantém-se de norte e os valores de temperatura pouco variam, ao passo que os da temperatura de ponto de orvalho diminuem ligeiramente.

A Figura A-108 mostra que parte da corrente de jacto se mantém sobre o Continente e que o vale ainda não passou. Comparando as Figuras A-108 e A-82, verifica-se que às 00h de dia 17 o ar está mais frio em altitude em todo o Continente. Verifica-se igualmente que o vale de ar frio, que se propagou para leste, está a desaparecer (temperatura a aumentar). A Figura A-109 mostra que não ocorre advecção de temperatura sobre a Madeira, estando a zona de máxima advecção fria já a leste da Madeira. Na parte noroeste do Continente ocorre advecção fria, ao passo que no resto do País praticamente não ocorre advecção de temperatura.

A Figura A-110 mostra que a parte noroeste de Portugal Continental está em sector frio, estando o resto do País em sector quente. A transição entre ar frio e quente pouco se moveu entre as 12h de dia 16 e as 00h de dia 17, como se vê comparando as duas imagens (na zona do Continente). Ocorreu também uma diminuição de  $\theta_{sw}$  na Madeira que reflecte a diminuição de TPW registada no tefograma.

Na Figura A-111 verifica-se que em quase toda a região de Portugal Continental, a norte de Espanha e em França se registam movimentos verticais ascendentes que estão associados à presença da frente identificada. Na zona da Madeira registam-se velocidades verticais praticamente nulas.

Para ajudar a perceber melhor o que gerou a instabilidade que originou as descargas registadas no detector, analisou-se também o campo do índice TT [O Índice TT é um índice de estabilidade atmosférica que se obtém através da expressão  $TT = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{d500})$ , sendo T e  $T_d$  os valores da temperatura e temperatura de ponto de orvalho aos 850 e 500hPa, respectivamente. Para valores de índice  $TT < 43^\circ\text{C}$  a atmosfera é estável,  $TT > 44^\circ\text{C}$  existe possibilidade de tempestades dispersas;  $TT > 50^\circ\text{C}$  tempestades dispersas e severas e  $TT > 56^\circ\text{C}$  tempestades numerosas e severas, U.S.A.F. (1961)] que mostra valores acima de  $49^\circ\text{C}$  em quase todo o País, excepto no noroeste e sudeste do País, como se constata na Figura A-112. É precisamente na área onde o índice TT é mais elevado que ocorreu o maior número de descargas registadas. O avançar da frente, de noroeste para sudeste terá sido o mecanismo que iniciou a subida de ar. A existência de ar mais quente junto à superfície (no sector quente) aliado à advecção de ar frio aos 500hPa registada em todo o Continente, fez com a atmosfera ficasse suficientemente instável para que ocorressem trovoadas. Na parte noroeste do País houve muito menos descargas (atmosfera mais estável) porque o ar frio chegou primeiro à superfície. Apesar da chegada de ar frio em altitude, a presença de ar mais frio (no sector frio) junto ao solo tornou a atmosfera mais estável e por isso poucas descargas se registaram na parte norte do País. Na parte sudeste, apesar de haver ar quente no solo e frio em altitude (alguma instabilidade), o mecanismo de subida de ar (frente) ainda está suficientemente longe e por isso aí também se registam poucas descargas (de resto às 00h o céu estava pouco nublado no sudeste do País).

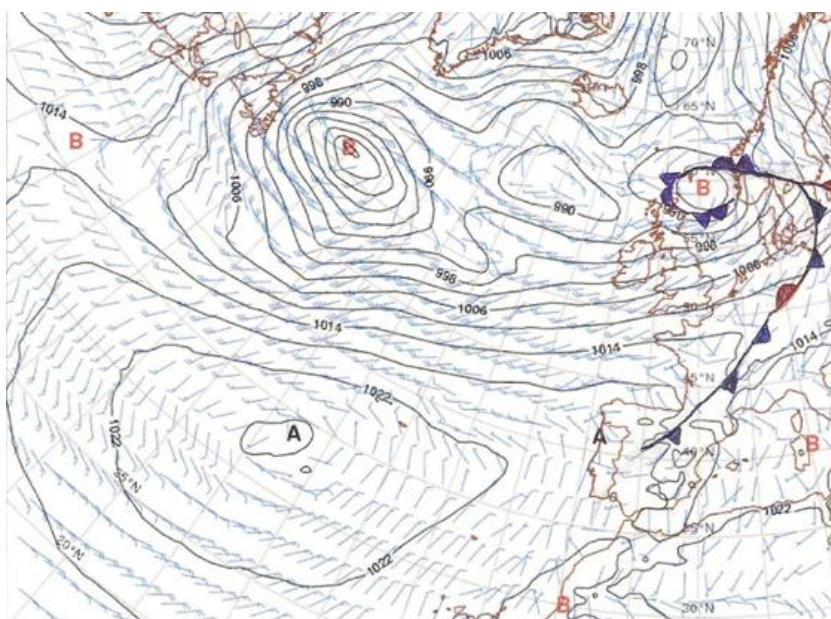
### **Terça, dia 17 de Novembro às 12h:**

As Figuras 14 e 15 mostram a frente oclusa que se encontra no sul da Noruega e Suécia, embora em fase de dissipação (muito menos nebulosidade que às 00h). Em Portugal a frente está já em fase de dissipação pois em muitos locais praticamente não há variação da direcção do vento nas zonas de contraste térmico (ver Figura A-129 mais à frente), ou seja nem o ar frio se desloca em direcção ao ar quente nem o contrário e a nebulosidade está a diminuir. A frente quente identificada continua o seu movimento para nordeste em relação às 00h.

As Figuras A-113 a A-119 mostram que há menos nebulosidade associada à frente, o que indica que esta estará em fase dissipação. A parte noroeste do País possui céu limpo, a parte sudoeste céu pouco nublado. A nebulosidade associada à frente mantém-se no entanto sobre França e centro de Espanha, onde a frente ainda tem actividade. Também na Madeira o céu está pouco nublado. Através da Figura A-113 vê-se que a Madeira e a parte noroeste do Continente estão em sector frio. Verifica-se também uma intrusão de ar estratosférico associado à corrente de jacto na zona de Cabo Verde, que contribuirá para aí destabilizar a atmosfera, favorecendo o desenvolvimento vertical das nuvens aí presentes. A parte sudeste do País parece estar em sector



quente, mas a presença de algumas nuvens não permite afirmar isso com clareza. A Figura A-114 mostra que o ar sobre o Continente possui vapor de água na alta troposfera, sobretudo na parte sul do País, onde o cinzento é mais claro (apesar de aí existir alguma nebulosidade). Sobre a Madeira, o conteúdo de vapor de água é menor na alta troposfera, tal como na parte leste de Cabo Verde (intrusão de ar estratosférico mais seco associado à corrente de jacto). A Figura A-115 mostra nuvens de topo relativamente frio no centro e sul de Espanha e nuvens com topo ainda mais frio sobre Cabo Verde. Sobre o Continente quase que não há nuvens. A Figura A-116 mostra pouca nebulosidade sobre o Continente. Vê-se alguma na zona da Serra da Estrela, sendo que estas devem ser nuvens orográficas. Por fim as Figuras A-117 e A-118 confirmam a pouca nebulosidade sobre o Continente e Madeira. Verifica-se, pela cor e aspecto, que as nuvens presentes no sul do País são nuvens altas constituídas por cristais de gelo. A diminuição de nebulosidade sugere que deixa de existir subida de ar, o que indica que a influência do anticiclone pode estar a “entrar” no Continente. Por fim, a Figura A-119 mostra que a sul de Cabo Verde existe já um pequeno overshooting, o que comprova a instabilidade aí verificada noutras imagens de satélite.

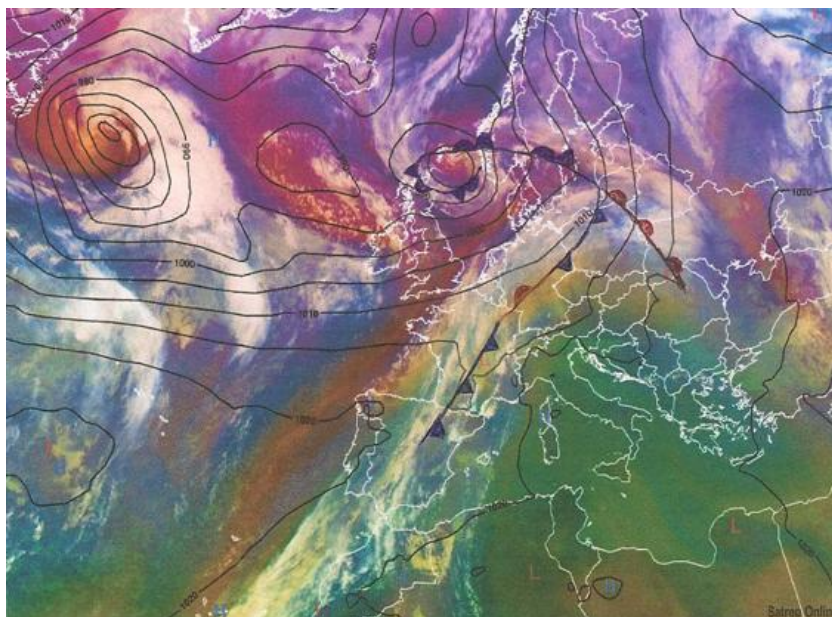


**Fig.14:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF) + frentes, dia 17 às 12h

Nos tefigramas das Figuras A-120 a A-123 verifica-se que o CAPE aponta para uma atmosfera estável em Lisboa e pouco instável para as restantes cidades, ao passo que o LI aponta para uma atmosfera estável em Lisboa e no Porto e um pouco instável para Faro e Funchal. Verifica-se ainda que em Lisboa a atmosfera é potencialmente instável apenas junto ao solo (até cerca de 900hPa), ao passo que no Porto é potencialmente instável desde o solo até cerca de 600hPa. No Funchal a atmosfera encontra-se potencialmente instável ou pouco instável desde o solo até cerca de 450hPa. Faro continua a ser a cidade com atmosfera mais instável, embora o valores do CAPE e LI tenham diminuído em relação às 00h. No entanto, em todas as cidades o céu apresenta-se praticamente limpo, ou seja, mesmo havendo alguma instabilidade (o que acontece sobretudo em Faro e no Funchal) não existe mecanismo que faça o ar subir. Por este motivo, como se pode observar nas Figuras A-124 e A-102, não se registam descargas eléctricas perto das 12h deste dia.

No Porto e em Lisboa houve um ligeiro aquecimento junto ao solo (aquecimento diurno), sendo que em quase toda a troposfera a temperatura diminuiu (em especial no Porto). No entanto, a presença de ar frio junto ao solo (após passagem da frente) é suficiente para que a atmosfera não fique instável, apesar da diminuição de temperatura em altitude, em comparação com as 00h. Nas camadas mais altas da troposfera ocorreu um aumento de temperatura nas duas cidades. O

conteúdo de vapor de água diminui nas duas cidades (TPW diminuiu). Também nas duas cidades a humidade relativa diminuiu em toda a troposfera, especialmente na troposfera média, o que é consistente com a entrada de ar frio mais seco em altitude.



**Fig.15:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar + frentes, dia 17 às 12h

Em Faro a temperatura regista uma ligeira descida em quase toda a troposfera, excepto perto do seu topo onde aumenta ligeiramente. O facto de a temperatura ter descido ligeiramente perto do solo (entre 900hPa e 800hPa), terá aumentado a estabilidade, mesmo ocorrendo também uma ligeira diminuição em altitude, quando se compara com o tefograma das 00h. Ocorre um aumento de TPW o que indica que a frente em superfície ainda não deverá ter chegado a passar. A humidade relativa também aumentou em toda a troposfera.

No Funchal a atmosfera está um pouco menos estável que às 00h, pois entre cerca de 650hPa e 450hPa a temperatura diminuiu um pouco, tendo registado poucas alterações no resto da troposfera. O TPW aumentou ligeiramente, ao passo que a humidade relativa aumentou em quase toda a troposfera, excepto entre cerca de 450hPa e 350hPa onde diminui um pouco. A ausência de detector de descargas na Madeira não permite confirmar se chegaram ou não a ocorrer descargas eléctricas na Madeira. No entanto, como as imagens de satélite mostram céu pouco nublado, não deverão ter aí ocorrido trovoadas.

A Figura A-125 mostra que o vale identificado anteriormente se dissipou e que o anticiclone se deslocou para leste aproximando-se tanto da Madeira como de Portugal Continental. Como consequência disso verifica-se que a pressão aumentou em todo o Continente, e na Madeira. Tanto o Continente como a Madeira estão sob influência do Anticiclone que está a sudoeste dos Açores. Daí que haja pouca nebulosidade. Ainda assim, apenas recorrendo à Figura A-126 não é fácil de definir onde se encontra a transição entre ar quente e frio na zona de Portugal Continental (devido ao fraco gradiente térmico e à existência de alguma nebulosidade no sul do País).

Na Figura A-127, é difícil de aferir onde se encontra a transição entre ar frio e quente, pois não se registam diferenças significativas de temperatura e temperatura de ponto de orvalho entre o norte e sul do País (excepto devido a efeitos mesoescala), sendo que em muitas estações não se regista vento. A Figura A-128 mostra que na Madeira a componente dominante do vento é de nordeste e que há um aumento de cerca de 3°C a 5°C em relação às 00h (aquecimento diurno em condições de céu pouco nublado). A temperatura de ponto de orvalho aumentou muito ligeiramente em quase todas as estações em consequência do ligeiro aumento do valor de TPW registado no tefograma. Constata-se portanto que a Madeira permanece em sector frio. A Figura A-129 mostra

um gradiente de pressão muito fraco e vento fraco na Península Ibérica. A componente dominante do vento é de norte/noroeste em quase todo o País. Ao contrário do que acontecia até aqui, não há uma mudança brusca na direcção do vento que permita localizar a frente, e que permita saber se se tem ar frio em direcção ao ar quente (frente fria) ou o contrário (frente quente). Esta situação é um forte indicador que a frente poderá ter dissipado entre as 00h e as 12h. A análise horária servirá para confirmar se a frente se dissipou antes de chegar a Faro.

A Figura A-130 mostra que aos 500hPa o vale ainda não passou no Continente estando agora sobre a Madeira. Aliás, se se comparar a Figura A-130 com a Figura A-108, verifica-se que, devido à passagem do vale a esta altitude, a temperatura diminui ligeiramente às 12h, como já se tinha também verificado no tefograma. Assim, a passagem do vale é que contribui para tornar a atmosfera menos estável às 12h no Funchal. Verifica-se ainda que, no entanto, o vale está a “enfraquecer”, quando comparado com as 00h. Verifica-se ainda que sobre o Continente, aos 500hPa, o ar está um pouco mais frio que às 00h (o que igualmente se verificou nos tefogramas). No entanto, a zona de ar frio associada a este vale continua a “diminuir” devido à advecção de ar quente a oeste do vale, e quase inexistência de advecção de ar frio na parte leste. Por isto, o vale apresenta tendência para desaparecer. Aos 850hPa, como se observa na Figura A-131, vê-se que ocorre advecção fria (embora ligeira) sobre o Continente, o que ilustra que ainda está a entrar ar frio sobre o País a esta altitude. A oeste do Continente e Madeira já não ocorre advecção de temperatura.

A Figura A-132 mostra que a Madeira e quase todo o Continente estão em sector frio, excepto a parte sudeste do País. De notar, no entanto, que aí o valor de  $\theta_{sw}$  também é maior pois o TPW também é maior. Assim, esta diferença de conteúdo de vapor de água (e temperatura) entre Faro e Lisboa e Porto é também indicativa de que a frente não chegou a passar em Faro e que o sudeste do País se mantém em sector quente.

A Figura A-133 mostra reduzidas velocidades verticais descendentes no noroeste do Continente e na zona da Madeira, situação típica de influência anticiclónica. Ainda se verificam velocidades verticais, embora baixas na parte sudeste do País. Esta situação mostra também que a frente está em fase de dissipação.

Apesar de ter ocorrido uma ligeira diminuição de temperatura na média troposfera entre as 00h e as 12h, o avançar da frente em superfície (para sul) trouxe ar mais frio junto ao solo, o que ajudou a estabilizar a atmosfera (mesmo com o aquecimento diurno) nos locais onde perto das 00h se registaram trovoadas. Por outro lado, a influência do anticiclone, impediu a continuação da subida de ar na zona de contraste térmico. Estes dois factores fizeram com que a nebulosidade comesçasse a desaparecer e que se deixasse por isso de registar trovoadas (atmosfera mais estável por arrefecimento do solo e ausência de mecanismo de subida de ar por influência do anticiclone) em comparação com as 00h.

Ao que tudo indica, a frente não passou em Faro, estando a zona sudeste do País em sector quente. Apesar de existir contraste térmico em superfície, a inexistência de uma zona de variação da direcção do vento (sopra de norte em quase todo o País) impede que o ar frio se desloque em direcção ao ar quente ou vice-versa, isto é, não se está na presença de uma frente fria nem de uma frente quente. Por outro lado, a influência do anticiclone impede a subida de ar, o que explica a diminuição da nebulosidade mesmo na zona de contraste térmico.

### **Terça, dia 17 de Novembro, análise hora-a-hora:**

Em todas as cidades, pela análise das Figuras A-134 a A-141, verifica-se um aumento de pressão atmosférica ao longo do dia. No Porto esse aumento foi de cerca de 11hPa, em Lisboa de cerca de 10hPa, no Funchal e em Faro de cerca de 6hPa. Esta situação ilustra a aproximação do anticiclone já referida anteriormente.

Não se registou precipitação em Faro e Funchal ao longo do dia, ao passo que em Lisboa apenas se registou entre as 00h e a 01h e no Porto entre as 00h e as 4h. A precipitação registada em Lisboa e no Porto deve-se ainda à nebulosidade associada à frente. Nas horas seguintes, a aproximação do anticiclone inibe a subida de ar, o que fez com que a nebulosidade diminuísse e

que deixasse de se registrar precipitação. A ausência de precipitação em Faro indicia que a frente não deve ter chegado a passar aí.

Verifica-se igualmente que em todas as cidades a intensidade do vento foi fraca ao longo de todo o dia (nunca superior a 8 nós) em consequência do fraco gradiente de pressão. A direcção do vento foi predominante de norte em todas as cidades, embora em algumas horas não se registre (sobretudo no Funchal) a direcção do vento devido à sua fraca intensidade. De referir que em Faro, entre as 12h e as 20h, o vento roda gradualmente de sudoeste para norte (o vento de sul durante a tarde talvez seja brisa mar-terra), ou seja, não se registou uma variação brusca em 1h, o que é característico da passagem da frente.

Também não se registam variações de temperatura de ponto de orvalho significativas durante o dia nas 4 cidades (junto ao solo), ao passo que a temperatura aumenta ao longo do dia devido ao aquecimento diurno, diminuindo depois durante a noite devido ao arrefecimento nocturno. Comparando ainda os valores de temperatura e temperatura de ponto de orvalho de Faro, com os de Lisboa e Porto ao longo do dia, vê-se que em Faro esses valores são sempre superiores em relação a Lisboa e Porto. Só a temperatura de ponto de orvalho é que diminui, e de forma gradual a partir das 19h em Faro, aproximando-se dos valores registados em Lisboa e Porto a essas horas.

Através da análise horária, todos os parâmetros apontam para que Faro continue em sector quente, enquanto Lisboa e Porto estão em sector frio. Isto significa que a frente fria não deverá ter chegado a passar em Faro.

### **Quarta, dia 18 de Novembro às 00h:**

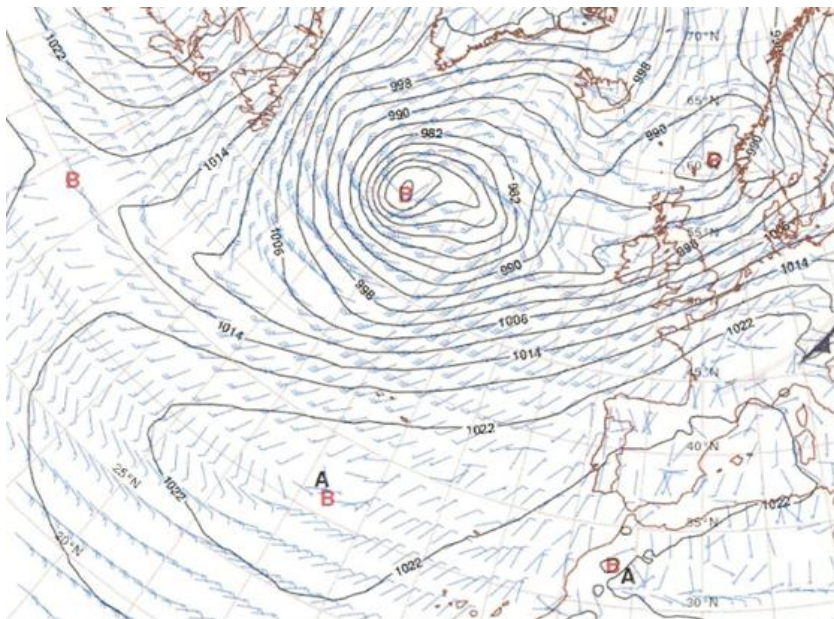
Os dados recolhidos às 00h de dia 18 servem sobretudo para complementar a análise horária do dia 17.

As Figuras 16 e 17 mostram que na zona da Península Ibérica a frente já dissipou. Na figura 16 vê-se que em Portugal Continental o vento sopra predominantemente de norte, sendo que no resto Península Ibérica sopra de várias direcções. Não se consegue por isso identificar a mudança de direcção do vento (de sudoeste para noroeste) e os vales depressionários que caracterizam a localização de uma frente fria. Isso já é visível na zona da Alemanha onde se representou a frente fria. Na Figura 17 vê-se que a nebulosidade associada à frente identificada nos dias anteriores continua a dissipar, estando agora a parte oeste da Europa sob influência anticiclónica. A nebulosidade presente na parte sul da Península Ibérica tem origem numa depressão existente a noroeste de África, não estando por isso associada à frente identificada anteriormente.

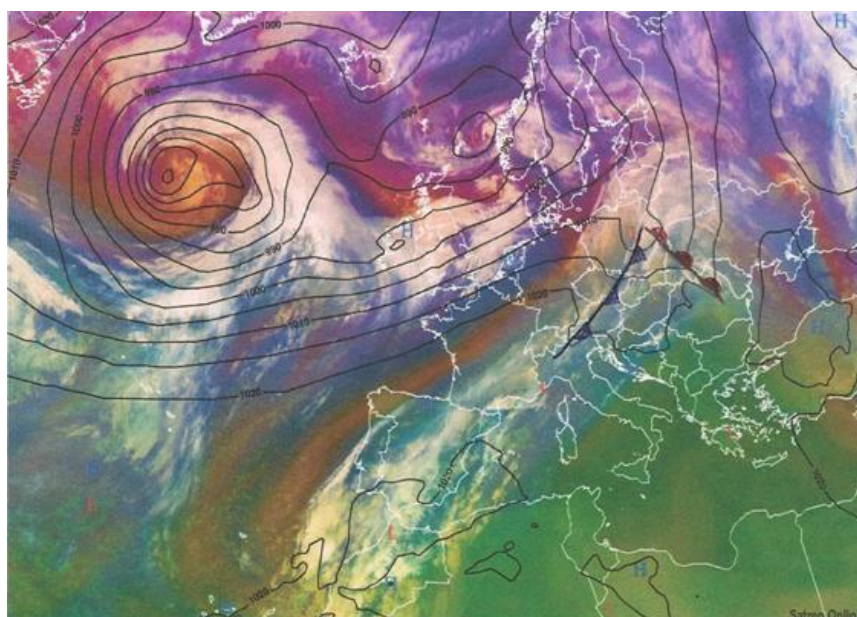
As imagens de satélite permitem verificar que existe nebulosidade em Espanha, França e noroeste de África. No noroeste de África, e comparando com as imagens de satélite de dia 17 às 12h, verifica-se que a nebulosidade até aumentou. As Figuras A-142 e A-143 mostram a existência de ar frio e seco a oeste da Madeira, em altitude, que se estende até à Alemanha. Esta banda de ar estratosférico está associada à corrente de jacto. Este é ar estratosférico polar, devido à curvatura da corrente de jacto na zona do vale (ver Figura A-156) penetra na troposfera tropical (a oeste da Madeira) contribuindo assim para tornar aí a atmosfera mais instável e com maior nebulosidade (ou seja nesta zona a nebulosidade formada não está associada a nenhuma frente). De resto, essa instabilidade é comprovada na Figura A-144 que mostra nuvens de topo frio nessa zona, e pela Figura A-145 que mostra o início de um overshooting. Verifica-se também, em todas as imagens, que alguma da nebulosidade formada no noroeste de África chegou ao Continente, em especial à parte sul do País. Através da Figura A-144 vê-se que algumas dessas nuvens têm topo relativamente frio. A Figura A-142 mostra que a parte noroeste do País está em sector frio, não sendo fácil de ver se a parte sul está ou não em sector quente, devido à presença de nuvens. A Madeira mantém-se com pouco nebulosidade e em sector frio, embora pareça que nessa zona a massa de ar já não esteja tão fria e seca. Isto acontece devido à influência anticiclónica sobre a região da Madeira. Nesta situação, a massa de ar tende a adquirir as características do local, isto é,



a sua temperatura e conteúdo de vapor de água tendem a aumentar (devido à presença de água relativamente quente nessa zona).



**Fig.16:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF) + frentes, dia 18 às 00h



**Fig.17:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar + frentes, dia 18 às 00h

Nos tefigramas, como se constata nas Figuras A-146 a A-149, o CAPE aponta para uma atmosfera estável em Lisboa, Porto e Faro, sendo que em nenhuma destas cidades a atmosfera se encontra sequer potencialmente instável (linha da temperatura muito à direita da linha de trajectória da parcela nas três cidades em toda a atmosfera.) Também o LI aponta para uma atmosfera estável no Porto e em Lisboa e maioritariamente estável em Faro. Nestas três cidades, o arrefecimento nocturno em condições de céu limpo contribuiu bastante para aumentar a estabilidade atmosférica durante a noite (quando comparado com as 12h do dia 17), uma vez que em altitude (500hPa) a temperatura pouco variou. O Funchal continua a ser a cidade com atmosfera menos estável (potencialmente instável ou pouco instável desde o solo ate cerca de 350hPa) com o CAPE a

apontar para uma atmosfera pouco instável e o LI para uma atmosfera maioritariamente estável. A presença de ar frio em altitude, já verificada às 12h de dia 17, é que torna a atmosfera menos estável no Funchal. De resto, a estabilidade indicada nos tefigramas de Faro e Porto é comprovada nas Figuras A-124 e A-150 onde praticamente não se registam trovoadas entre as 12h e as 24h de dia 17 (apenas algumas sobre o mar e ao fim do dia) e entre as 00h e as 12h de dia 18 perto das referidas cidades. As descargas registadas no mar no fim do dia 17 e entre as 00h e 12h de dia 18 a sul do Algarve devem estar associadas às nuvens identificadas nas imagens de satélite das 00h no norte de África e sul da Península Ibérica. Também se registam poucas descargas (perto das 00h de dia 18) na zona de Lisboa e vale do Tejo. No entanto, nessa zona o céu aparenta estar pouco nublado nas imagens de satélite e o tefograma das 00h aponta para uma atmosfera estável, pelo que deverá ter ocorrido algum erro na detecção de tais descargas.

Nos tefigramas de Lisboa e Porto a elevada estabilidade é explicada pois ocorreu um ligeiro arrefecimento junto ao solo e um ligeiro aumento de temperatura na média troposfera (especialmente em torno dos 700hPa). Este aumento talvez se deva à subsidiência de ar devido à proximidade do anticiclone (aquecimento por compressão). Nas duas cidades o conteúdo de vapor de água diminuiu pois o TPW é menor que às 12h de dia 17. A humidade relativa diminuiu um pouco, especialmente próximo dos 700hPa, onde a temperatura aumentou ligeiramente.

Em Faro a temperatura diminui em altitude (acima dos 700hPa), mas praticamente não varia abaixo desse nível excepto abaixo dos 950hPa, onde diminui um pouco, devido ao arrefecimento nocturno. A existência de ar mais frio junto ao solo é preponderante para tornar a atmosfera mais estável que às 12h de dia 17. O conteúdo de vapor de água diminuiu ligeiramente, sendo que a humidade relativa pouco variou, permanecendo elevada em quase toda a troposfera. Em Faro o conteúdo de vapor de água é maior que em Lisboa e Porto, sendo a temperatura mais elevada. Isto parece indicar que Lisboa e Porto estão em sector frio, enquanto Faro se manteve em sector quente.

Por fim, no Funchal, junto ao solo a temperatura quase não varia, tendo aumentado ligeiramente na média/alta troposfera, tornando a atmosfera mais estável que às 12h de dia 17. O conteúdo do vapor de água diminui ligeiramente. Regista-se no entanto, um decréscimo significativo da humidade relativa em torno de cerca de 500/550hPa.

A Figura A-151 mostra que a pressão continuou a aumentar entre as 12h de dia 17 e as 00h de dia 18, tanto no Continente, como na Madeira, pois o anticiclone, embora mais fraco que às 12h de dia 17, se estende em crista para leste, tendo já chegado à parte ocidental da Europa. Na Figura A-152 vê-se uma baixa pressão no noroeste de África na zona onde aparecem as nuvens nas imagens de satélite. Esse mínimo de pressão deverá ser o principal mecanismo que gera a subida de ar nesse local o que consequentemente explica a formação de nuvens nessa zona.

A Figura A-153 mostra valores baixos de temperatura e temperatura de ponto de orvalho em quase todo o País devido ao arrefecimento nocturno em condições de céu limpo. Ainda assim é na parte sul do País que se registam os valores de temperatura e temperatura de ponto de orvalho mais elevados. O vento sopra de norte/nordeste na maior parte das estações. Na Madeira como se observa na Figura A-154, o vento sopra maioritariamente de norte, registando-se uma ligeira descida da temperatura. Os valores de temperatura de ponto de orvalho também permaneceram baixos. A Figura A-155 mostra um gradiente de pressão fraco (e por isso vento fraco) em todo o Continente, sendo que a pressão subiu em relação às 12h de dia 17 (devido à já referida aproximação do anticiclone).

A Figura A-156 mostra que a esta altitude (500hPa) o vale não passou ainda sobre o Continente, mantendo-se no entanto em fase de dissipação. Tanto sobre a Madeira como sobre o Continente, a temperatura praticamente não mudou (em relação às 12h de dia 17). Também aos 850hPa, como se pode ver na Figura A-157, não ocorre nem advecção de ar frio nem de ar quente a esta altitude (apenas ligeira advecção de ar frio um pouco a sul de Faro).

A Figura A-158 parece indicar que a Madeira e também a maior parte do Continente estão em sector frio. No sudeste algarvio o valor de  $\theta_{sw}$  é maior pois aí a temperatura e o valor do TPW são mais elevados. Parece então que esta zona se mantém em sector quente, mantendo-se assim uma situação idêntica à das 12h de dia 17, ou seja, existe ainda um contraste de temperatura e

humidade entre o sudeste do Algarve e o resto do País. No entanto, pelo facto de não haver contraste de direcção dominante do vento, o contraste térmico mantém-se estacionário.

A Figura A-159 mostra que as velocidades verticais sobre Continente e Madeira são quase nulas mas positivas, o que comprova a existência de subsidiência associada ao anticiclone. De referir no entanto que existem alguns movimentos verticais ascendentes (velocidades negativas) no noroeste de África o que indica que aí poderá estar a ocorrer desenvolvimento de nuvens e forte precipitação.

## 6. Análise de modelos conceptuais

### Domingo, dia 15 de Novembro, 00h

Às 00h do dia 15 foram identificadas duas frentes frias.

A Figura A-160 mostra que a corrente de jacto atravessa (com um ângulo agudo) a nebulosidade e a frente fria mais a oeste, não atravessando, e sendo aproximadamente paralela à frente fria mais a leste. Isto aponta para que a frente mais a oeste seja do tipo catabático e a frente mais a leste do tipo anabático. A Figura A-161 mostra uma diminuição de espessura equivalente que ocorre entre ambas as frentes e atrás da frente fria mais a oeste. A Figura A-162 mostra que ocorre advecção quente antes da passagem da frente fria mais a leste e advecção fria atrás da mesma frente fria. Este parâmetro exclui a possibilidade de esta ser uma frente em advecção fria ou advecção quente. No entanto, verifica-se, na frente fria mais a oeste, que ocorre essencialmente advecção quente antes da sua passagem e advecção fria após a sua passagem na parte mais a norte da frente (junto à depressão). Na parte mais a sul dessa mesma frente ocorre advecção fria antes e após a passagem da frente. Isto indica que nessa zona, a frente é uma frente fria em advecção fria. Por fim, a Figura A-163 mostra máximos de advecção de vorticidade positiva (associados à corrente de jacto) essencialmente após a passagem da frente fria mais a oeste (na zona mais a sul). No entanto, na parte mais a norte da frente localizada a oeste também se localizam máximos de advecção de vorticidade positiva antes da passagem da frente, o que aponta para que nessa zona a frente seja uma frente fria do tipo catabático. Ao analisar a localização da nebulosidade verifica-se que a nebulosidade se encontra essencialmente entre ambas as frentes frias. A existência de nebulosidade essencialmente antes da passagem da frente fria mais a oeste aponta para que esta seja uma frente do tipo catabático. A existência de nebulosidade essencialmente após a passagem da frente fria mais a leste aponta para que esta seja uma frente fria do tipo anabático. Resumindo a informação obtida, pode-se afirmar que a frente fria mais a oeste é uma frente fria catabática na parte mais a norte e uma frente fria em advecção fria na parte mais a sul. A frente fria mais a leste parece ser uma frente fria do tipo anabático.

### Domingo, dia 15 de Novembro, 12h

Às 12h do dia 15 foram identificadas duas frentes frias, estando agora mais próximas que às 00h. A Figura A-164 mostra que a corrente de jacto atravessa a frente fria mais a oeste (e a nebulosidade associada à mesma) com um ângulo agudo na parte mais a norte e que está aproximadamente paralela à frente fria mais a leste. Na Figura A-165 vê-se que ocorre diminuição de espessura equivalente entre as duas frentes frias e após a frente fria mais a oeste. Na Figura A-166 pode-se ver que ocorre advecção quente antes da frente fria mais a leste e advecção fria após a mesma; ocorrendo advecção fria antes e após a frente fria mais a oeste em quase toda a sua extensão. Apenas na parte mais a norte é que ocorre advecção quente antes da frente e advecção fria após a localização da frente. Por fim, a Figura A-167 mostra que os máximos de advecção de vorticidade positiva se encontram essencialmente atrás das frentes frias, exceptuando na parte mais a norte da frente fria localizada a oeste, onde se localizam máximos de advecção de vorticidade positiva também antes da frente fria. Nas últimas quatro figuras verifica-se também (à semelhança do que aconteceu às 00h) que a nebulosidade se encontra essencialmente entre as duas frentes, ou seja, antes da frente fria mais a oeste e após a frente fria mais a leste. A análise dos parâmetros referidos aponta para que a frente mais a leste continue a ser uma frente fria do tipo anabático e que a frente mais a oeste seja, em quase toda a sua extensão, uma frente fria em advecção fria. Apenas na parte mais a norte é que essa é uma frente fria do tipo catabático.

## **Segunda, dia 16 de Novembro, 00h**

Às 00h do dia 16 é identificada uma frente fria. A Figura A-168 mostra que a corrente de jacto é aproximadamente paralela à frente fria (e à nebulosidade a ela associada) excepto na parte mais a norte, onde a corrente de jacto atravessa a frente com um ângulo agudo. A Figura A-169 mostra que a diminuição de espessura equivalente ocorre atrás da frente fria, especialmente na parte mais a sul. Na parte mais a norte verifica-se uma diminuição de espessura equivalente essencialmente antes da frente, o que não está muito de acordo com o previsto teoricamente, pois numa frente fria o ar frio aparece primeiro junto ao solo e depois em altitude (talvez nessa zona esteja a ocorrer entrada de ar frio em altitude antes da passagem da frente em superfície). A Figura A-170 mostra que ocorre essencialmente advecção quente (embora fraca) antes da passagem da frente fria na zona mais a sul e advecção fria após a frente. No entanto, verifica-se que mais a norte ocorre advecção fria antes e após a frente fria, vendo-se ainda que mais a norte volta a ocorrer advecção quente antes da frente fria e advecção fria após a frente fria. Na zona em que ocorre advecção fria antes e após a frente, esta é uma frente fria em advecção fria. A Figura A-171 mostra que os máximos advecção de vorticidade positiva ocorrem atrás da frente fria, excepto na parte mais a norte da frente. A Figura A-172 mostra que na parte mais a sul os máximos de parâmetro frontal térmico se encontram aproximadamente onde a frente e a nebulosidade a ela associadas se situam. No entanto, na parte mais a norte os máximos de parâmetro frontal térmico encontram-se bastante antes da frente. Este facto, aliado ao facto de aí ocorrer igualmente uma diminuição de espessura equivalente antes da passagem da frente e advecção fria (aos 700hPa) indica que aí deve estar a ocorrer entrada de ar frio em altitude antes de a frente chegar à superfície. Por último, vê-se que nas cinco figuras analisadas a nebulosidade associada à frente se encontra após a frente na parte mais a sul e antes da frente na parte mais a norte. Pode-se então afirmar que a esta hora, a frente fria é uma frente fria do tipo catabático na extremidade mais a norte, do tipo anabático na zona mais a sul; existindo ainda uma zona (entre estas) em que é uma frente fria em advecção fria.

## **Segunda, dia 16 de Novembro, 12h**

Às 12h do dia 16 é identificada uma frente fria a sudoeste de Portugal Continental (mais a norte, em Portugal Continental e na zona de França a frente passou a ser quente devido à formação de uma ondulação). A análise das Figuras A-173 a A-177 mostra que a frente identificada parece ser do tipo anabático, pois a corrente de jacto aproximadamente paralela à frente e à nebulosidade a ela associada; a diminuição de espessura equivalente ocorre após a frente, na zona onde se encontra a nebulosidade associada à frente; a advecção quente (embora fraca) ocorre antes da frente e essencialmente advecção fria após a frente; os máximos de advecção de vorticidade positiva estão após a frente; os máximos de parâmetro frontal térmico localizam-se após a frente e na zona onde se encontra a nebulosidade a ela associada e a nebulosidade associada à frente encontra-se essencialmente atrás da frente.

## **Terça, dia 17 de Novembro, 00h**

Às 00h do dia 17 também se identifica uma frente fria. Tal como às 12h do dia 16, a análise das Figuras A-178 a A-182 mostra que todos os parâmetros-chave apontam para que a referida frente continue a ser uma frente fria do tipo anabático (análise idêntica à das 12h de dia 16).

## **Terça, dia 17 de Novembro, 12h**

Às 12h do dia 17 já não é identificada uma frente fria na zona de Portugal Continental, pois como se viu anteriormente esta já se dissipou. As Figuras A-183 a A-186 mostram que, através da análise dos parâmetros-chave, os contrastes térmicos na zona de Portugal Continental estão a diminuir (em altitude) e verifica-se que a diminuição da espessura equivalente é menos acentuada,

o que significa, uma vez que este parâmetro depende da temperatura média da camada, que os contrastes térmicos estão a diminuir (o que se verificou essencialmente em altitude); a intensidade máxima da velocidade de vento (na corrente de jacto) é menor e o máximo de velocidade está mais para norte, ou seja, está mais afastado da zona onde se encontrava a frente; os valores de advecção fria (aos 700hPa) na zona de Portugal Continental, são praticamente nulos, sendo que já não se regista advecção quente; praticamente não são detectados máximos de advecção de vorticidade associados à frente, na zona de Portugal Continental.

Para esta hora não se conseguiu obter o campo do parâmetro frontal térmico.

De referir que na zona onde a frente fria é identificada (Espanha e França) esta continua a ser do tipo anabático pois os parâmetros-chave analisados apresentam configurações idênticas às das 12h de dia 16 e 00h de dia 17.

### **Quarta, dia 18 de Novembro, 00h**

Às 00h de dia 18 é identificada uma frente fria no centro da Europa. Os parâmetros-chave analisados nas Figuras A-187 a A-191 mostram que esta continua a ser uma frente fria do tipo anabático, embora exista uma zona (aproximadamente a meio da frente) onde ocorre advecção fria antes e após a localização da frente. Nessa zona é uma frente fria em advecção fria. Na zona de Portugal Continental a análise é idêntica à das 12h de dia 17 (a frente já dissipou à superfície) verificando-se que em altitude os contrastes térmicos são ainda menores que às 12h de dia 17 (já praticamente inexistentes) pois verifica-se que a diminui de espessura equivalente é muito pequena (ainda menos que às 12h de dia 17); a intensidade máxima da velocidade de vento (na corrente de jacto) continua a diminuir, sendo ainda da menor que às 12h de dia 17 e estando esse máximo mais para nordeste; os valores de advecção fria e quente (aos 700hPa) são nulos na zona de Portugal Continental; não são detectados máximos de advecção de vorticidade associados à frente, na zona de Portugal Continental. No entanto, são ainda detectados máximos de parâmetro frontal térmico no sul do País (embora estes máximos sejam muito menores que às 00h de dia 17 e que às 12h de dia 16), o que mostra que em altitude os contrastes térmicos ainda não se dissiparam por completo (não confundir com a análise anteriormente feita para o que se registou em superfície).

## 7.Considerações finais e perspectivas futuras

Resumindo a informação das 00h, 12h e horária para o dia 15, pode-se afirmar que se localizaram duas frentes quentes e duas frentes frias às 00h e duas frentes frias (uma delas com uma ondulação na zona mais a sudoeste) e duas frentes quentes às 12h (dois sistemas frontais). A frente quente identificada no sistema frontal mais a noroeste está quase dissipada às 12h. Verificou-se que o sistema frontal localizado a sudeste às 00h se deslocou essencialmente para nordeste. O sistema frontal mais a noroeste também se deslocou aproximadamente no mesmo sentido. No entanto, às 12h a frente fria deste sistema frontal aproximou-se da frente fria do sistema frontal localizado mais a sudeste.

O dia 15 foi um dia nublado com precipitação em Lisboa e, sobretudo no Porto. Nas duas cidades, a nebulosidade e precipitação ocorreram devido à passagem de uma das frentes quentes identificadas e em seguida à aproximação de uma das frentes frias identificadas (frentes que constituíam o sistema frontal localizado mais a sudeste). Como a nebulosidade associada à frente fria em aproximação não chegou a Faro e ao Funchal, nestas cidades o céu permaneceu pouco nublado. Faro e Funchal estiveram sempre em sector quente, ao passo que o Porto e Lisboa passaram a estar em sector quente após a passagem da frente quente (às 5h e à 1h, respectivamente).

No dia 16 às 00h foram identificadas uma frente fria e uma frente quente (um sistema frontal). Verificou-se que a frente fria identificada que às 12h do dia 15 estava mais a oeste alcançou a frente fria mais a leste, tendo uma das frentes quentes dissipado e estando a outra localizada em França. O único sistema frontal identificado continua a deslocar-se para nordeste. Às 12h do dia 16 o sistema frontal continua a mover-se para nordeste, tendo-se a esta hora formado uma frente oclusa nas Ilhas Britânicas. A esta hora, verifica-se que a oeste de Portugal Continental aparecem dois mínimos de pressão que originam ondulações da frente fria identificada às 00h.

A análise geral do dia 16 mostra que em Lisboa, Porto e Funchal passou uma frente fria, por volta das 19h/20h, 5h/6h e 6h/7h respectivamente, ao qual esteve associada nebulosidade e precipitação nas três cidades. A nebulosidade e precipitação que afectaram Lisboa e Porto não chegaram à cidade de Faro, onde o céu esteve pouco nublado ou limpo. Lisboa, Porto, Faro e Funchal passaram a estar em sector frio, ao passo que Faro se manteve sempre em sector quente. Outra conclusão importante é que, após a formação das ondulações da frente entre as 00h e as 12h o Porto nunca voltou a estar em sector quente após a passagem da frente fria às 5h/6h de dia 16.

Do dia 16 às 12h para o dia 17 às 00h verifica-se que a ondulação identificada em Portugal Continental se moveu essencialmente para nordeste. No dia 17 às 12h o sistema frontal continua a mover-se essencialmente para nordeste, sendo que as frentes identificadas anteriormente em Portugal Continental já se dissiparam. No entanto, estas ainda mostram actividade (não dissiparam) na parte nordeste de Espanha e em alguns países do centro da Europa.

O dia 17 foi um dia com precipitação em Lisboa e Porto nas primeiras horas do dia, associada à passagem e ondulação da frente, tendo depois a nebulosidade começado a desaparecer devido à dissipação da frente e aproximação do anticiclone. Na Madeira, teve-se uma situação de pós-frontal com pouca nebulosidade (devido à presença do anticiclone), ao passo que em Faro, a frente nunca chegou a passar (dissipou entretanto).

No dia 18 o sistema frontal até aqui seguido está praticamente dissipado. Identificam-se apenas uma frente fria e uma frente quente no centro da Europa. Na Península Ibérica a nebulosidade associada às frentes anteriormente identificadas já dissipou. No entanto é identificada nebulosidade associada a uma depressão localizada no noroeste de África.

No dia 18, as imagens e parâmetros analisados às 00h mostram a tendência para melhoria do tempo e aumento da pressão atmosférica em quase todo o Continente e de bom tempo na Madeira. Ainda assim, existe alguma instabilidade no norte de África que traz alguma nebulosidade em especial para o sul do País. A Madeira e quase todo o Continente mantêm-se em sector frio, ao passo que a parte sudeste do País em sector quente. A influência anticiclónica sobre o Continente

poderá ajudar a diminuir os contrastes térmicos entre a parte sudeste do País e o resto do País, contribuindo assim para aos poucos, os dissipar.

Através da análise de alguns parâmetros-chave conclui-se que, às 00h de dia 15, se identificam duas frentes frias, sendo que uma delas (a que se encontra mais a leste) é uma frente fria do tipo anabático. A frente fria mais a oeste apresenta uma zona onde é identificada como sendo uma frente fria em advecção fria (mais a sul) e outra zona onde é uma frente fria do tipo catabático. Às 12h do mesmo dia identificam-se duas frentes frias, sendo que agora se concluiu que a frente fria mais a leste é do tipo anabático, ao passo que a frente mais a oeste é uma frente fria em advecção fria em quase toda a sua extensão, exceptuando a parte mais a norte em que é uma frente fria do tipo catabático.

Às 00h do dia 16 identificou-se uma frente fria que na zona mais a sul é do tipo anabático, na extremidade mais a norte é do tipo catabático, sendo que no meio é identificada uma zona em que é uma frente fria em advecção fria.

No dia 16 às 12h e nos dias 17 e 18 é identificada uma frente fria que se concluiu ser do tipo anabático. Verificou-se que às 12h do dia 17 e às 00h de 18 a frente (em altitude) está já em fase de dissipação, pois os contrastes térmicos diminuíram, sendo praticamente inexistentes no dia 18 às 00h.

De uma forma geral, conclui-se que nem sempre é fácil escolher qual o modelo conceptual de frente fria que mais se adequa ao caso em estudo, pois por vezes as configurações dos parâmetros-chave analisados apresentam algumas discrepâncias com os modelos teóricos.

Por fim, espera-se que esta dissertação possa contribuir para aprofundar elementos teóricos necessários para a análise e interpretação de informação de tempo atmosférico, que poderá servir de base para comunicados da Protecção Civil.

No entanto, o desenvolvimento desta dissertação permitiu fazer uma aplicação em contexto real do conhecimento teórico e construído ao longo da formação académica.

A construção do conhecimento para uma via prática e contexto real criou uma motivação para continuar nesta área de intervenção. A sua relevância baseada na relação com a vigilância e protecção civil é argumento suficiente para continuar a minha formação científica nesta área, permitindo desenvolver competências numa base teórico-prática e sólida em contextos reais.



## 8.Referências bibliográficas

Ahrens C.D. (1999). *Essentials of meteorology – an invitation to the atmosphere*. 3ªEdition. Editor Thomson. 468pp.

Ahrens C.D. (2007). *Meteorology today – an introduction to weather, climate and environment*. 8ª Edition. Editor Thomson Brooks/Cole. 537pp.

Iribarne, J.V. and Cho, H.R. (1980). *Atmospheric physics*. D. Reidel Publishing. Company. Dordrecht. 212 pp.

Holton, J.R. (2004). *An introduction to Dynamic Meteorology*. New York, Academic Press, Inc., 4ª ed.. 511 pp.

Martín-Vide, J.(2005): *Los mapas del tiempo*, Mataró, Davinci Continental, 221 pp.

Mcintosh, D.H. and Thom, A.S. (1981). *Essentials of meteorology*. Taylor & Francis Ltd,London. 238 pp.

U. S. Air Force (1961). *Use of Skew T-log p diagram in analysis and forecasting, Vol 1, radiosonde analysis*. AWSM 105-124, Scott AFB, Illinois.

Salby, M.L. (1996). *Fundamentals of atmospheric physics*. Academic Press, San Diego. 624 pp.

Stull, R.B. (2000). *Meteorology for Scientists & Engineers*, 2 Ed. Brooks/Cole Thomson Learning. 502pp.

Wallace, J.M., and P. Hobbs (2006) *Atmospheric Science . An introductory Survey*, 2nd Ed. Academic Press, London. 504pp.

## Webgrafia

[http://expert.weatheronline.co.uk/lftx\\_frame.htm](http://expert.weatheronline.co.uk/lftx_frame.htm)

[http://www.meted.ucar.edu/npoess/microwave\\_topics/clouds\\_precip\\_water\\_vapor/navmenu.htm](http://www.meted.ucar.edu/npoess/microwave_topics/clouds_precip_water_vapor/navmenu.htm)

[http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o\\_tempo/previsao.numerica/index.html](http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o_tempo/previsao.numerica/index.html)

[http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o\\_tempo/previsao.numerica/ecmwf/index.html](http://www.meteo.pt/pt/enciclopedia/o_tempo/previsao.numerica/ecmwf/index.html)

<http://www.eumetsat.int/Home/index.htm>

[http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg\\_interpretation/msg\\_channels.php](http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/msg_channels.php)

<http://www.satreponline.org/archive.php?width=1280&height=800>

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMS/Cf/images/kfcosk01k.gif>

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMS/Cf/images/kfcosk03k.gif>

## Anexo de Figuras

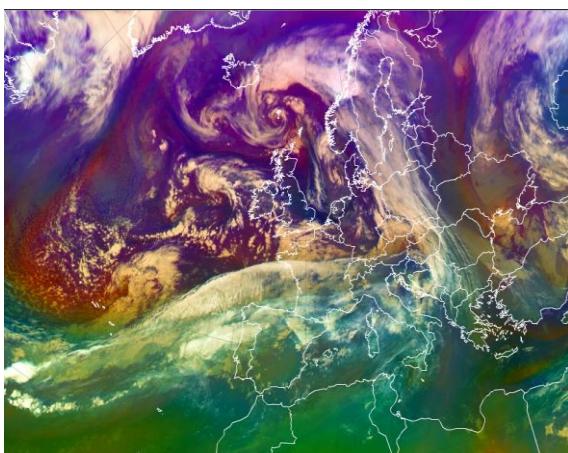


Fig. A-1: RGB\_massas\_de\_ar, dia 15 às 00h

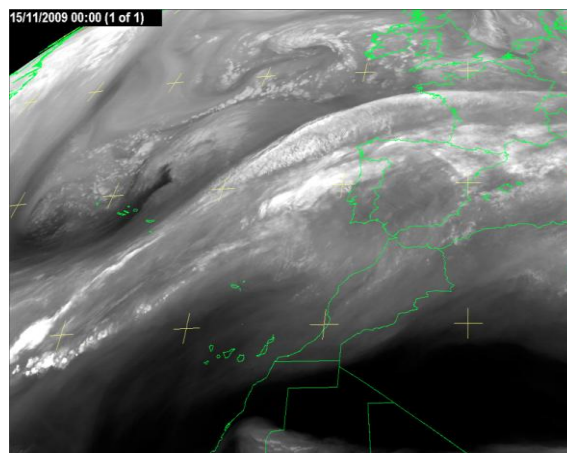


Fig. A-2: HRIT\_WV\_062, dia 15 às 00h

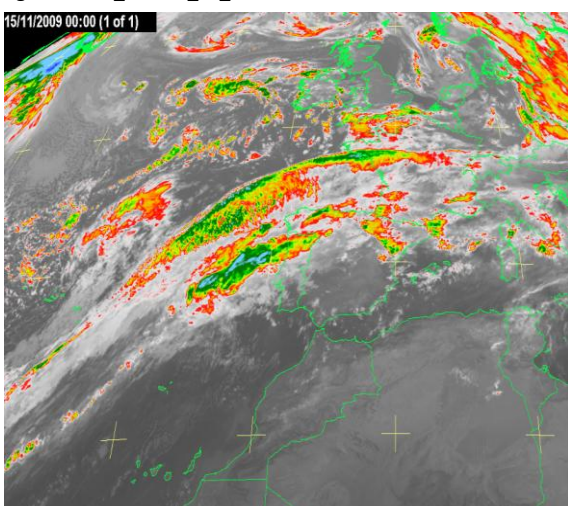


Fig. A-3: HRIT\_IR\_108, dia 15 às 00h

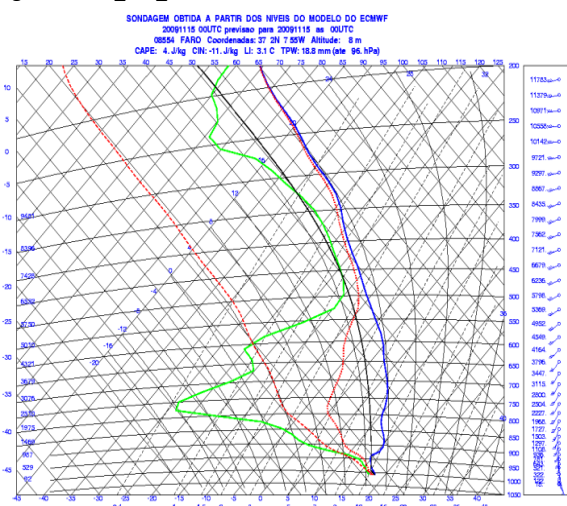


Fig. A-4: Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Faro, dia 15 às 00h

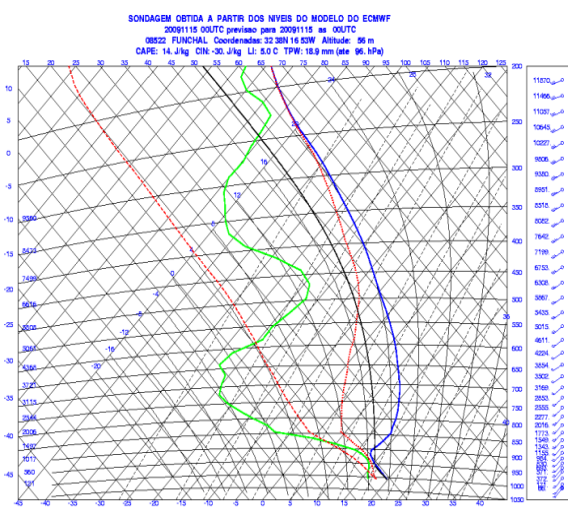


Fig. A-5: Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Funchal, dia 15 às 00h

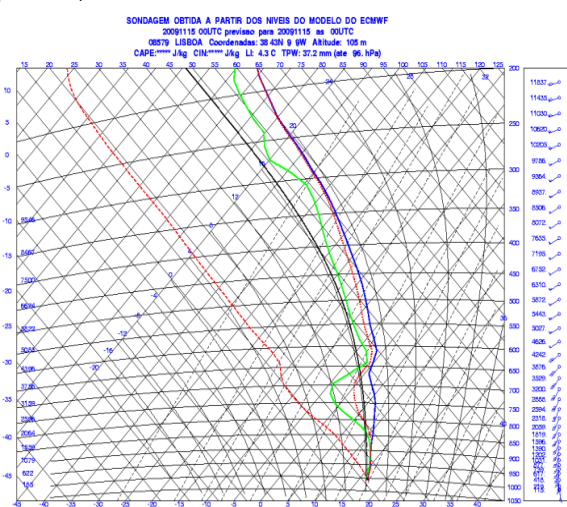
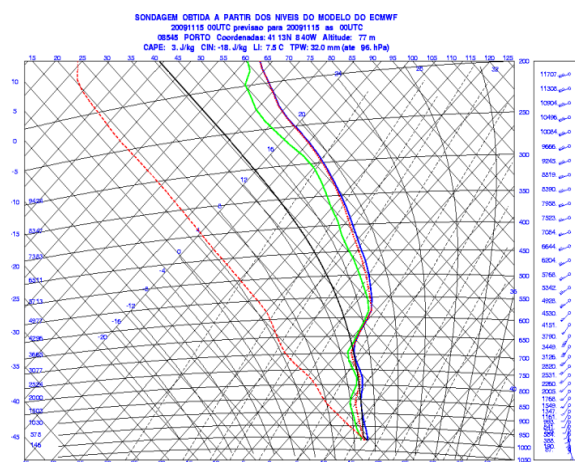
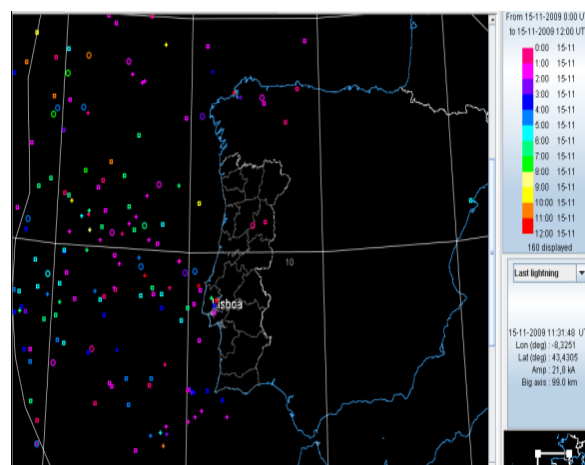


Fig. A-6: Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Lisboa, dia 15 às 00h

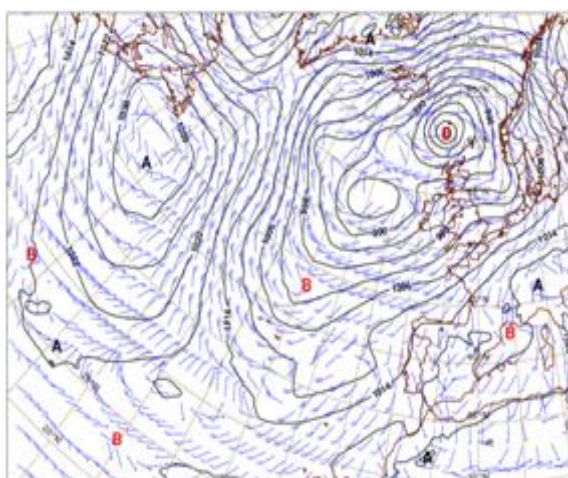




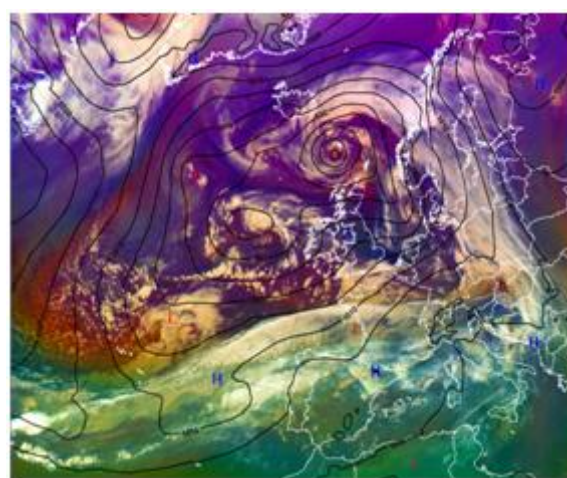
**Fig. A-7:** Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Porto, dias 15 às 00h



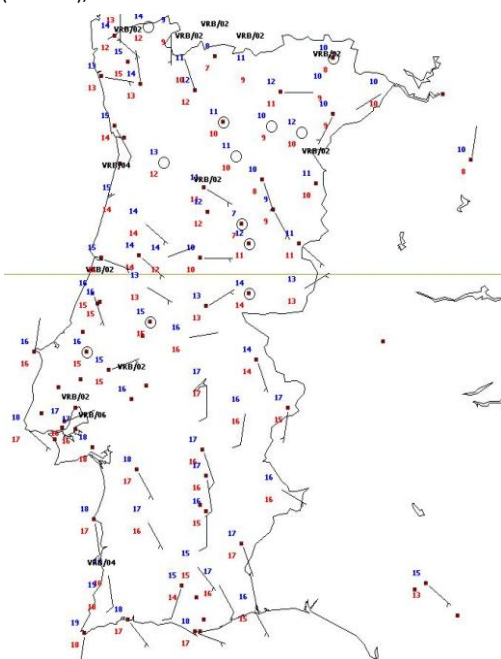
**Fig. A-8:** Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas, dia 15, das 00h às 12h



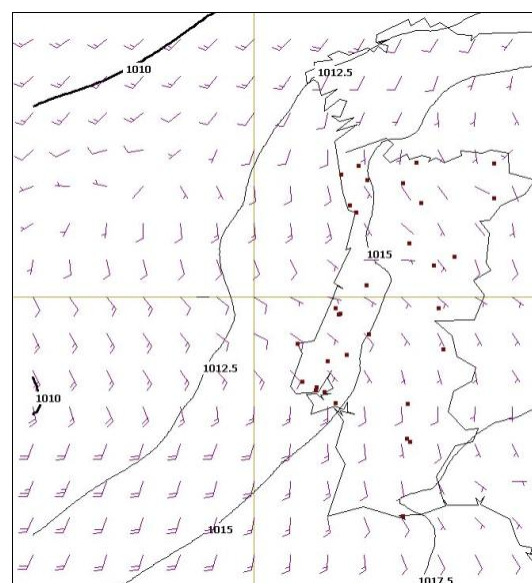
**Fig. A-9:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 15 às 00h



**Fig. A-10:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar, dia 15 às 00h

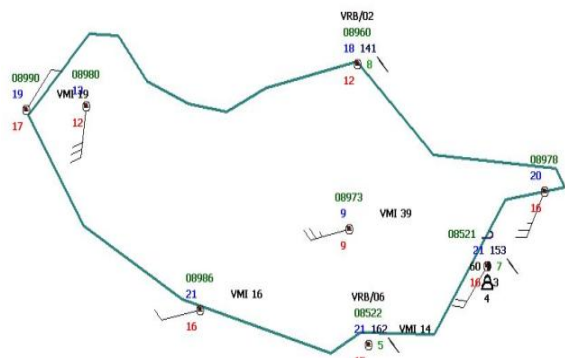


**Fig. A-11:** SYNOP Portugal Continental, dia 15 às 00h

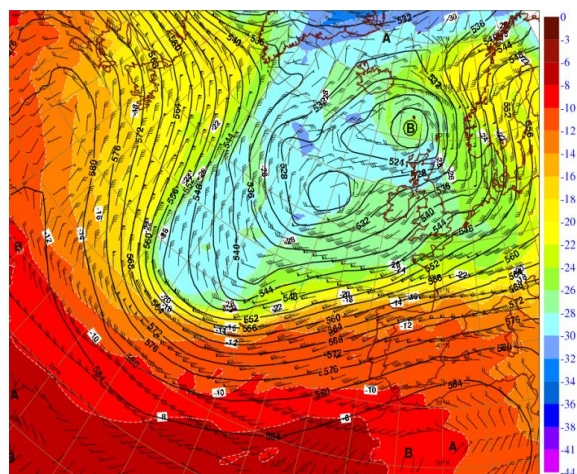


**Fig. A-12:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento (nós) aos 10m (ECMWF) para Portugal Continental, dia 15 às 00h

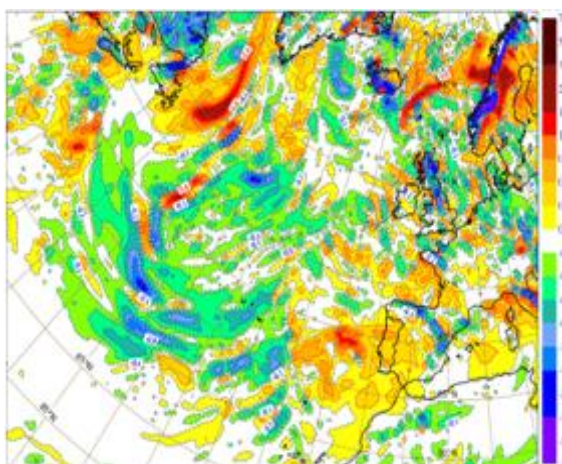




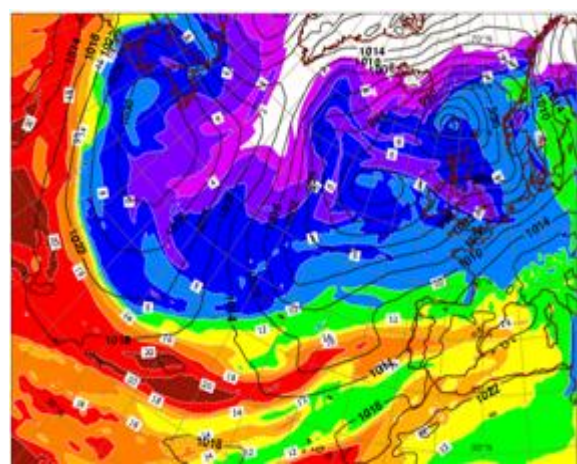
**Fig. A-13:** SYNOP Madeira, dia 15 às 00h



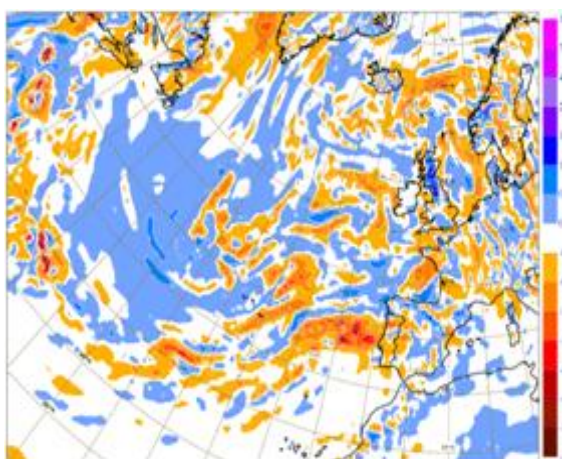
**Fig. A-14:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 500hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 15 às 00h



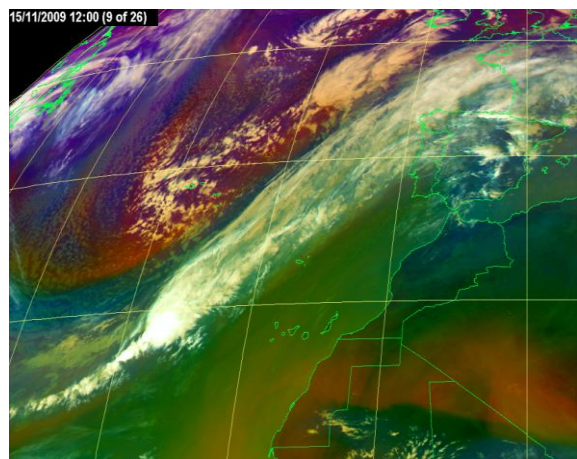
**Fig. A-15:** Análise da advecção de temperatura (°C/h) aos 850hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 15 às 00h



**Fig. A-16:** Análise do  $\theta_{sw}$  (°C) aos 850hPa e pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 15 às 00h



**Fig. A-17:** Análise da velocidade vertical (Pa/s) aos 700hPa para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 15 às 00h



**Fig. A-18:** RGB\_massas\_de\_ar, dia 15 às 12h



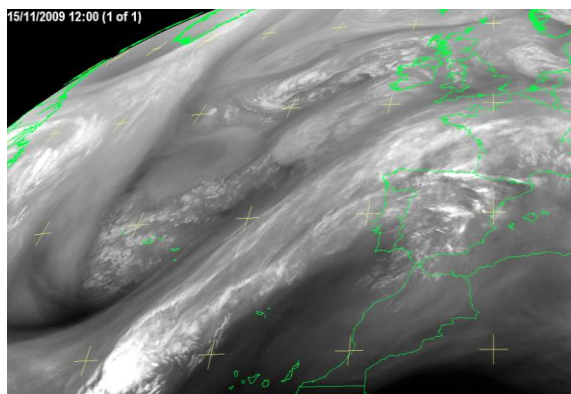


Fig. A-19: HRIT\_WV\_062, dia 15 às 12h

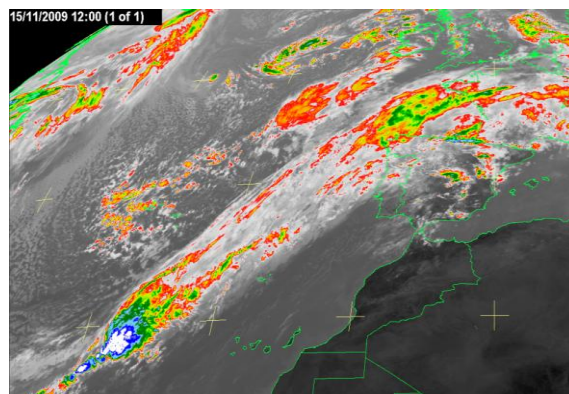


Fig. A-20: HRIT\_IR\_108, dia 15 às 12h

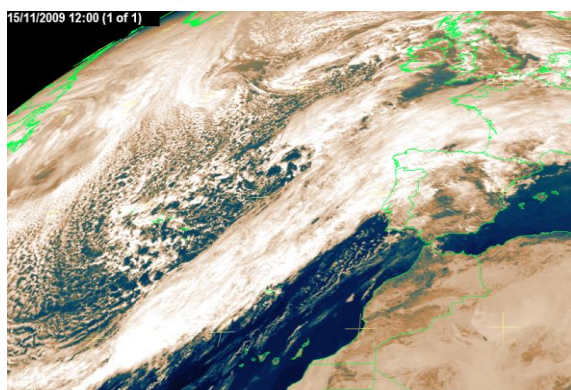


Fig. A-21: HRIT\_VIS\_006, dia 15 às 12h

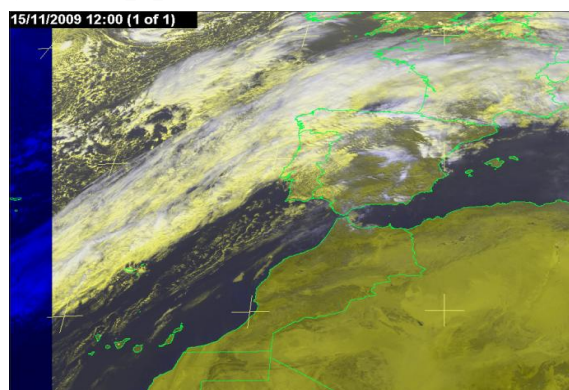


Fig. A-22: RGB\_nuvens\_HRV, dia 15 às 12h

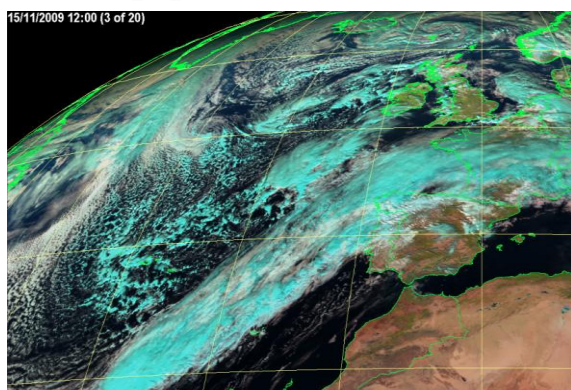


Fig. A-23: RGB\_natural, dia 15 às 12h

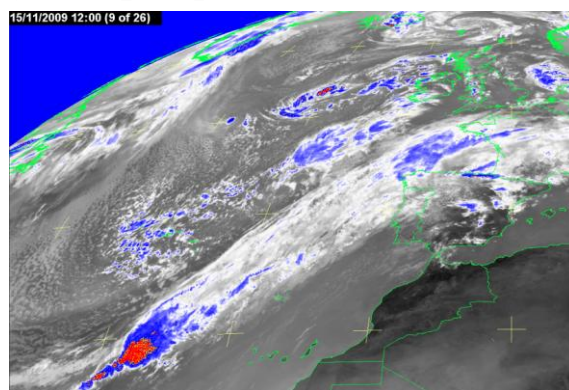


Fig. A-24: DIF\_062\_108, dia 15 às 12h

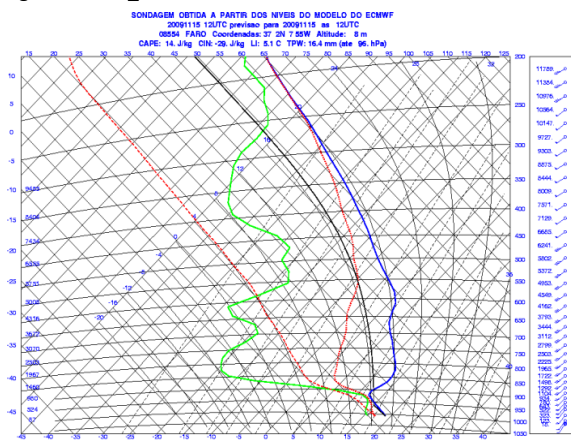


Fig. A-25: Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Faro, dia 15 às 12h

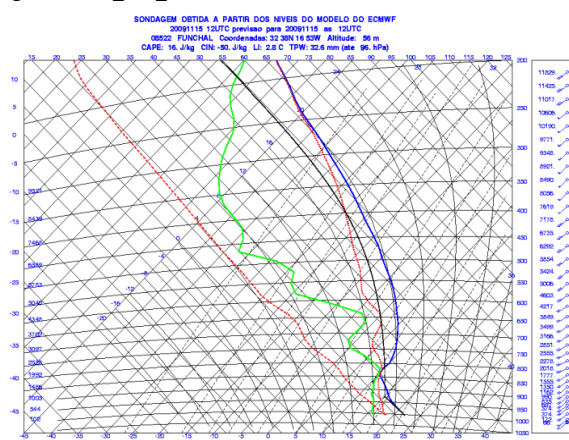
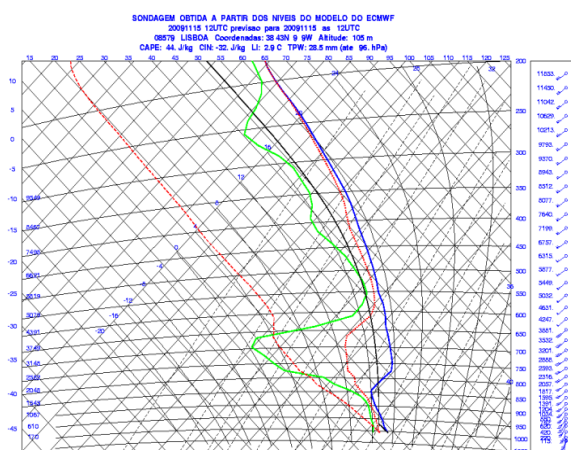
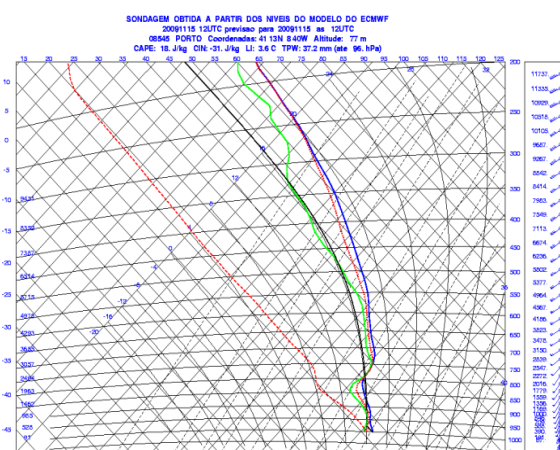


Fig. A-26: Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Funchal, dia 15 às 12h

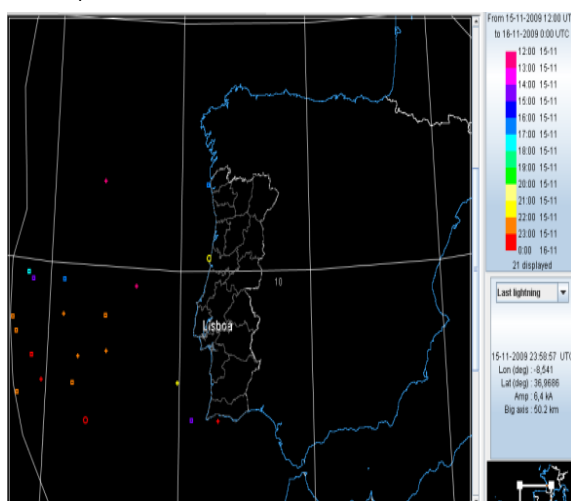




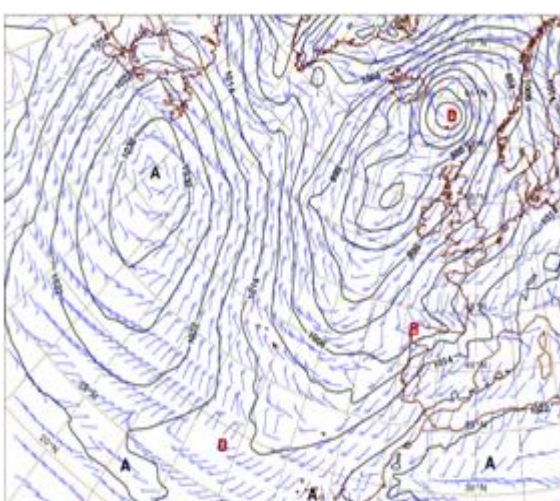
**Fig. A-27:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Lisboa, dia 15 às 12h



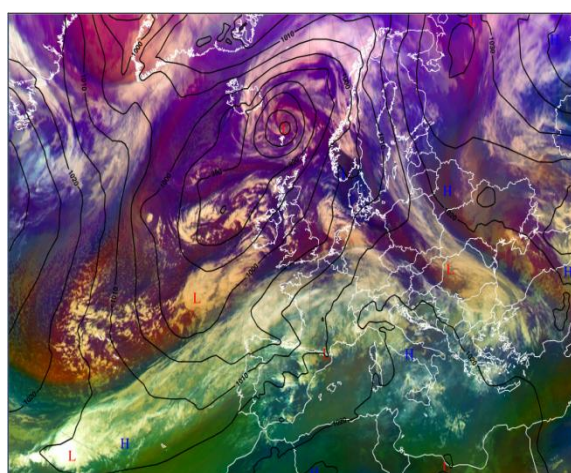
**Fig. A-28:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Porto, dia 15 às 12h



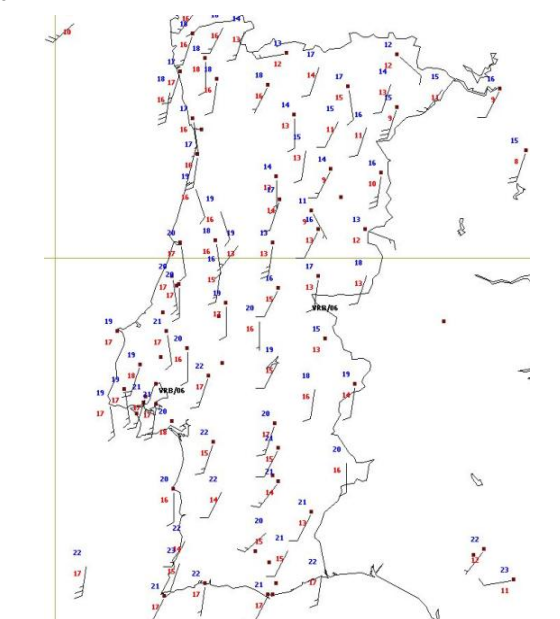
**Fig. A-29:** Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas, dia 15, das 12h às 24h



**Fig. A-30:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento (nós) aos 10m (ECMWF) para Europa Ocidental e Atlântico, dia 15 às 12h

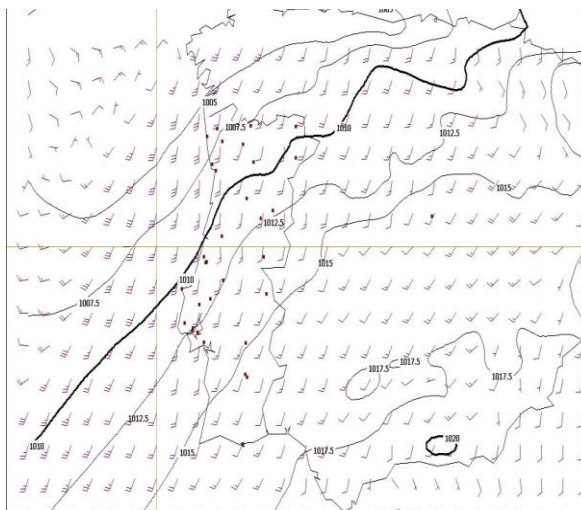


**Fig. A-31:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar, dia 15 às 12h

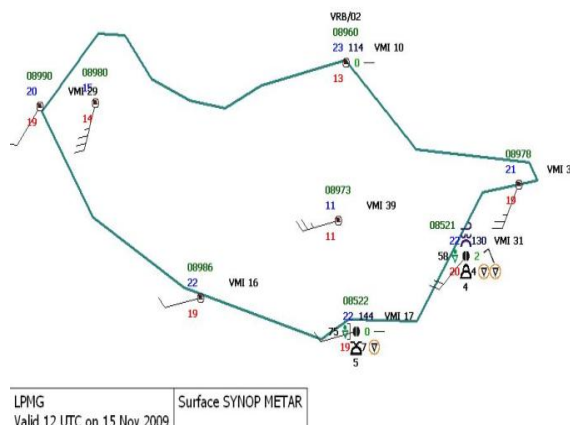


**Fig. A-32:** SYNOP Portugal Continental, dia 15 às 12h

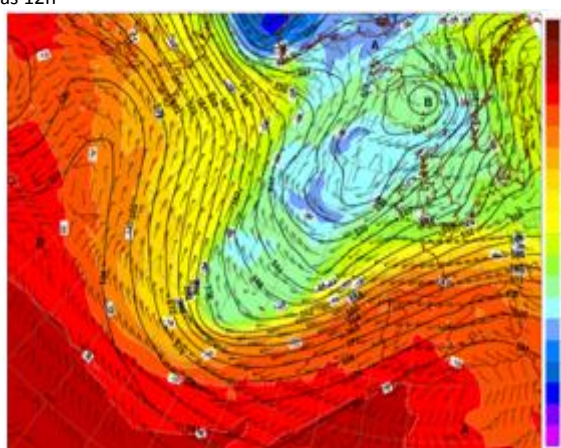




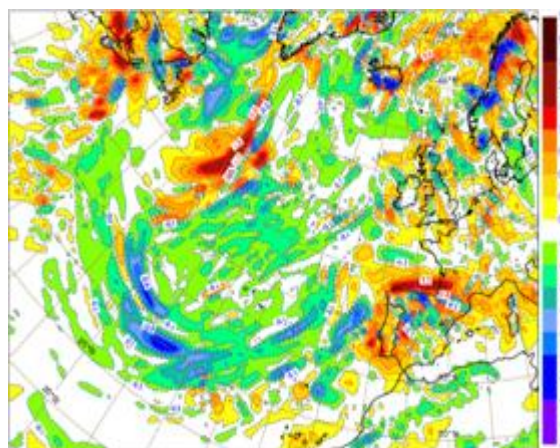
**Fig. A-33:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento (nós) aos 10m (ECMWF) para a Península Ibérica, dia 15 às 12h



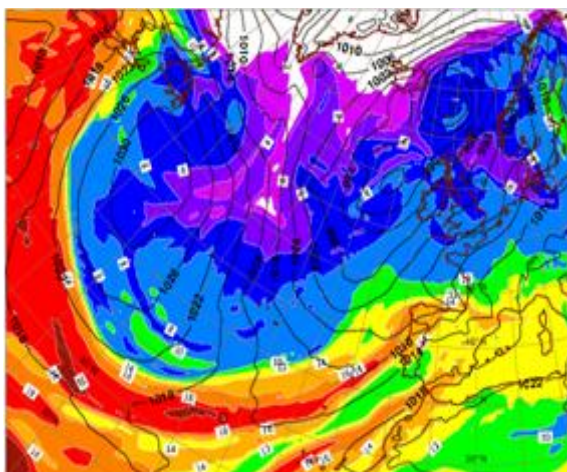
**Fig. A-34:** SYNOP Madeira, dia 15 às 12h



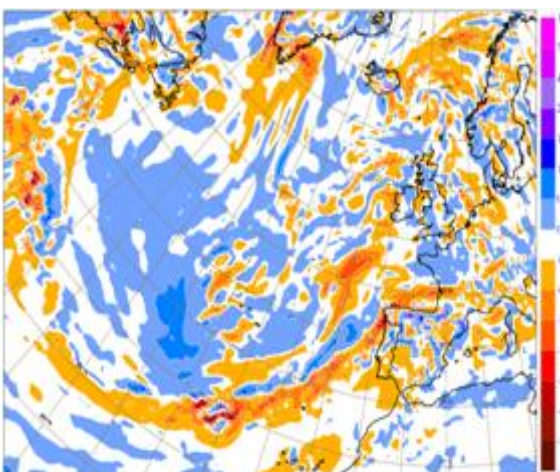
**Fig. A-35:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 500hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 15 às 12h



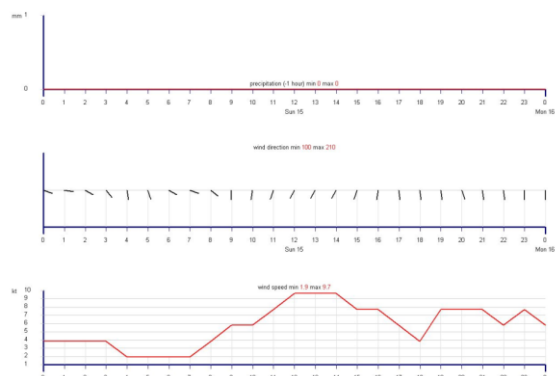
**Fig. A-36:** Análise da advecção de temperatura (°C/h) aos 850hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 15 às 12h



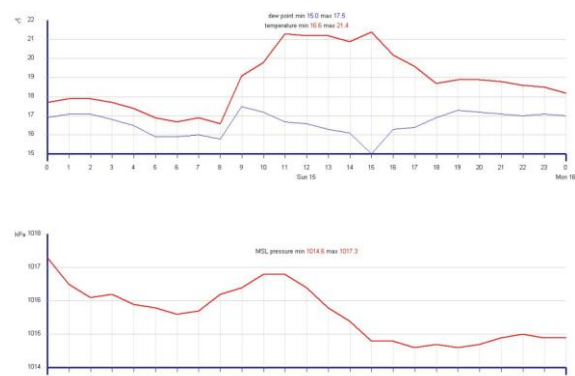
**Fig. A-37:** Análise do  $\theta_{sw}$  (°C) aos 850hPa e pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 15 às 12h



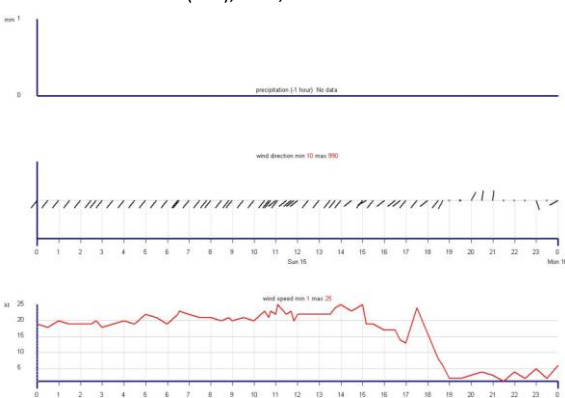
**Fig. A-38:** Análise da velocidade vertical aos 700hPa (Pa/s) para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 15 às 12h



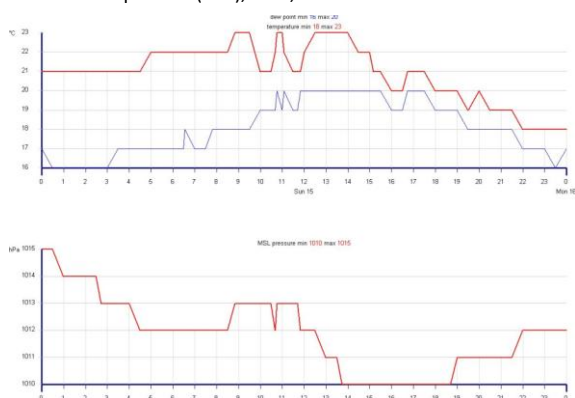
**Fig. A-39:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (º) e intensidade do vento (nós), Faro, dia 15 das 00h às 24h



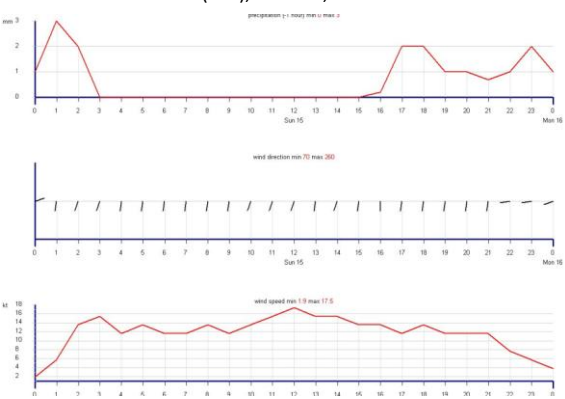
**Fig. A-40:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (ºC) e tendência de pressão (hPa), Faro, dia 15 das 00h às 24h



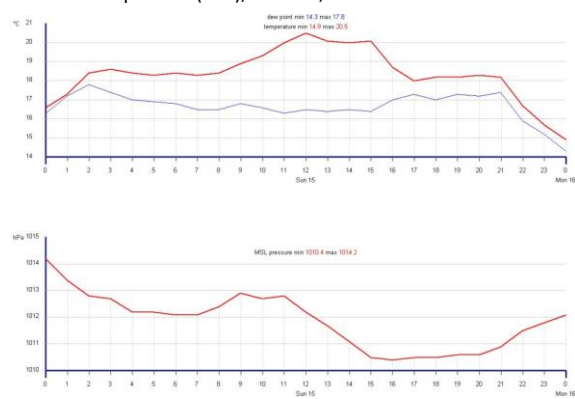
**Fig. A-41:** Precipitação acumulada (não disponível), direcção (º) e intensidade do vento (nós), Funchal, dia 15 das 00h às 24h



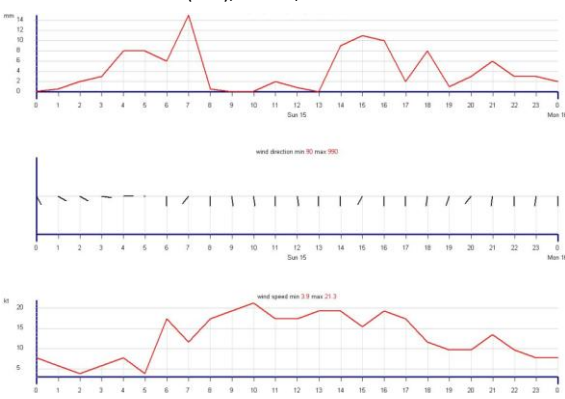
**Fig. A-42:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (ºC) e tendência de pressão (hPa), Funchal, dia 15 das 00h às 24h



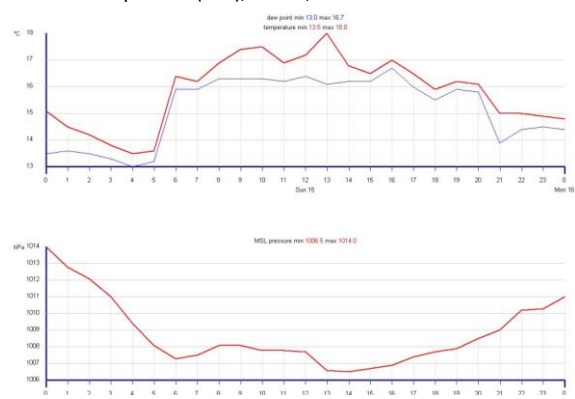
**Fig. A-43:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (º) e intensidade do vento (nós), Lisboa, dia 15 das 00h às 24h



**Fig. A-44:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (ºC) e tendência de pressão (hPa), Lisboa, dia 15 das 00h às 24h



**Fig. A-45:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (º) e intensidade do vento (nós), Porto, dia 15 das 00h às 24h



**Fig. A-46:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (ºC) e tendência de pressão (hPa), Porto, dia 15 das 00h às 24h



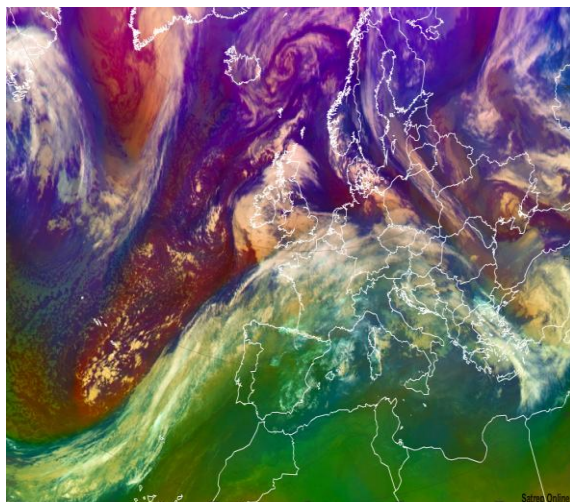


Fig. A-47: RGB\_massas\_de\_ar, dia 16 às 00h

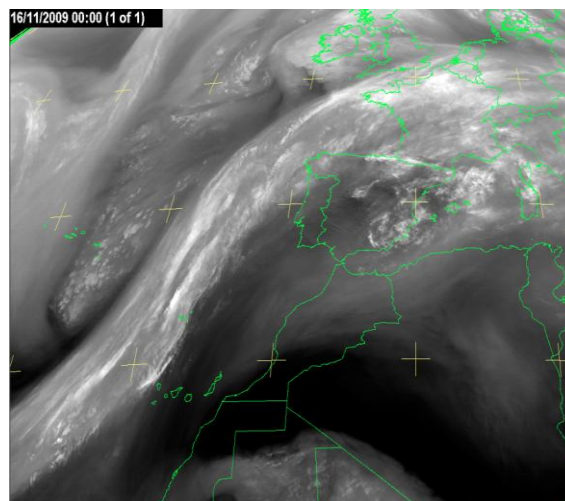


Fig. A-48: HRIT\_WV\_062, dia 16 às 00h

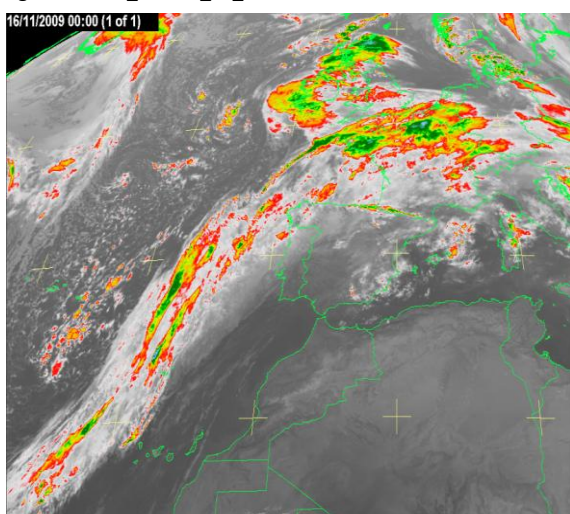


Fig. A-49: HRIT\_IR\_108, dia 16 às 00h

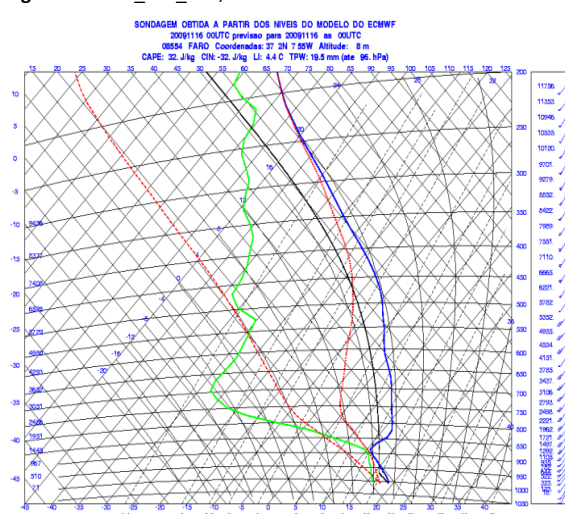


Fig. A-50: Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Faro, dia 16 às 00h

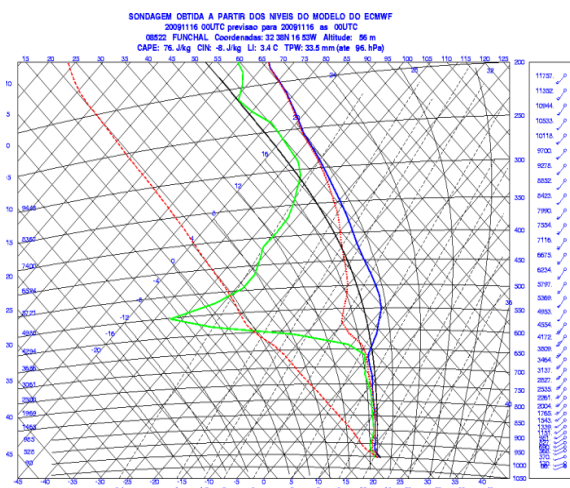


Fig. A-51: Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Funchal, dia 16 às 00h

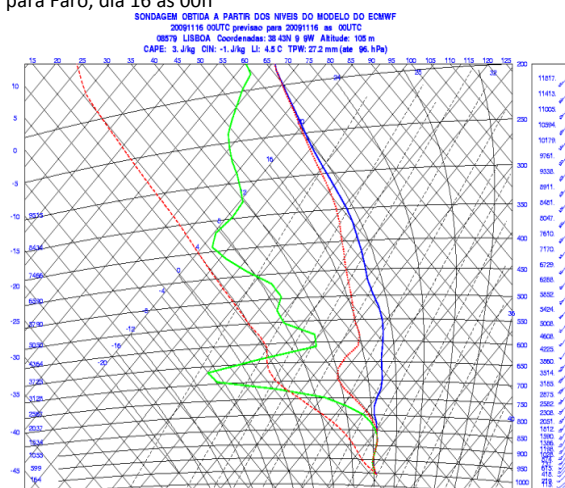
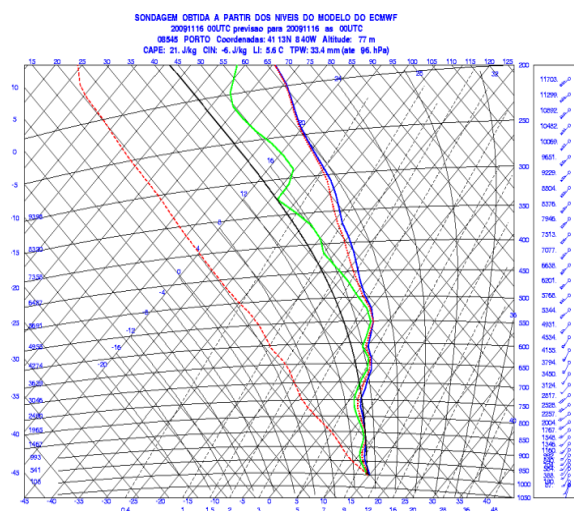
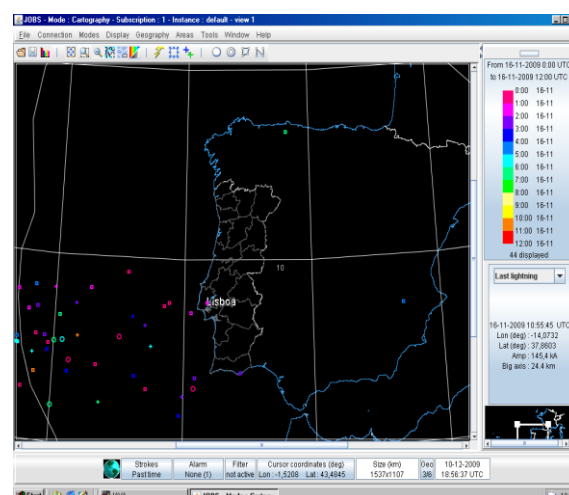


Fig. A-52: Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Lisboa, dia 16 às 00h

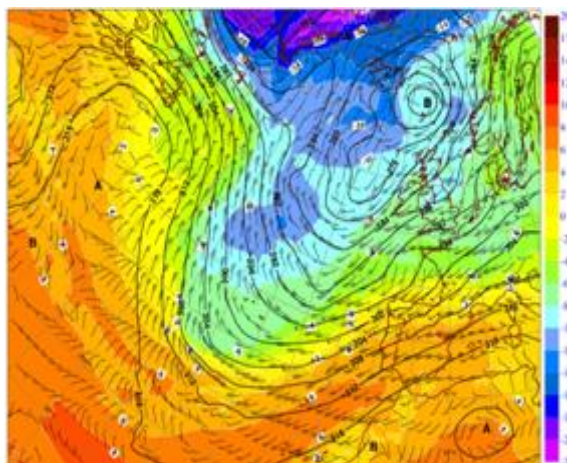




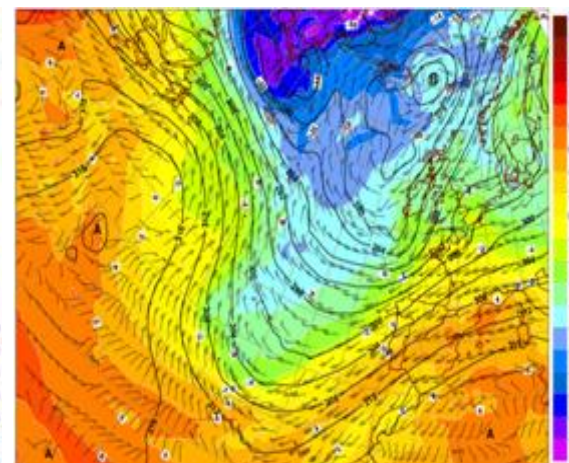
**Fig. A-53:** Tefigura obtida a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Porto, dia 16 às 00h



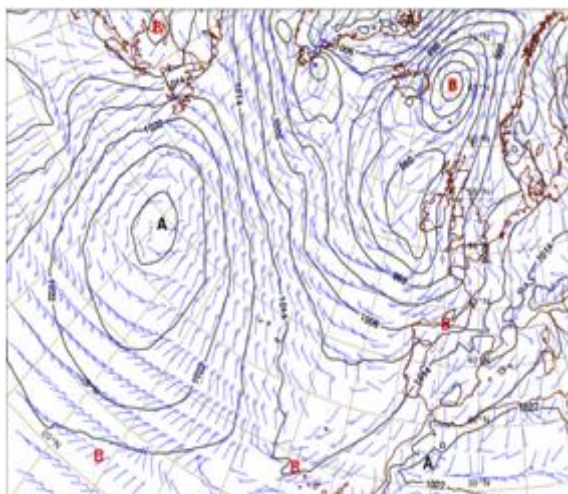
**Fig. A-54:** Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas, dia 16, das 00h às 12h



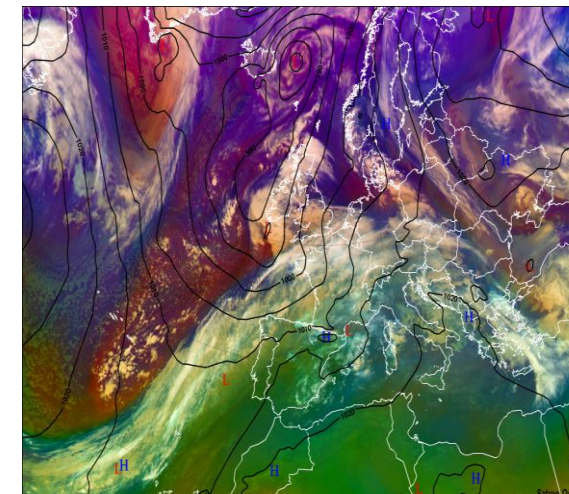
**Fig. A-55:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 15 às 12h



**Fig. A-56:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 00h

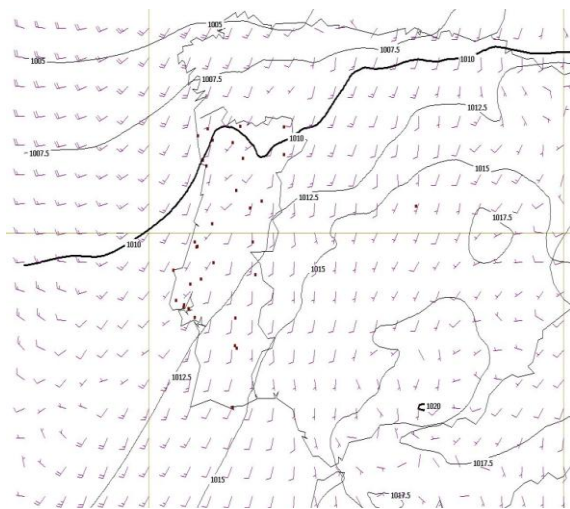


**Fig. A-57:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 16 às 00h

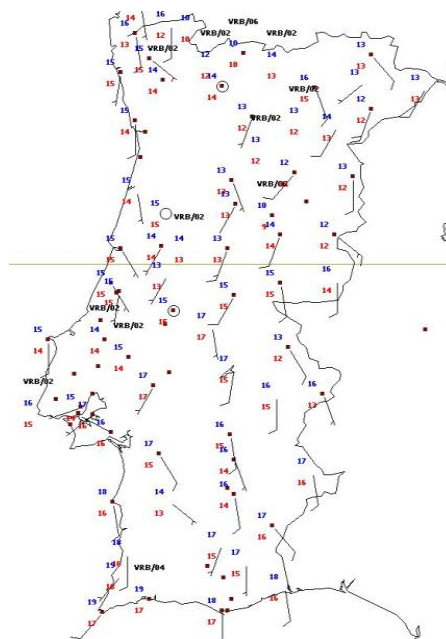


**Fig. A-58:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar, dia 16 às 00h

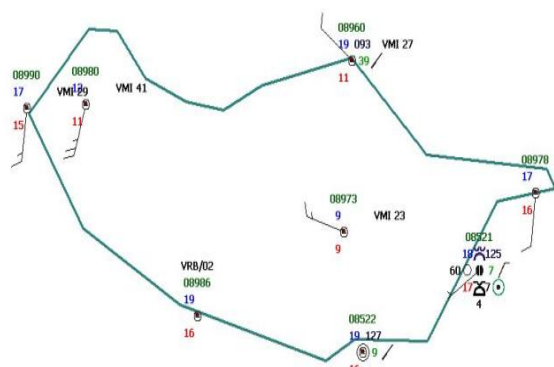




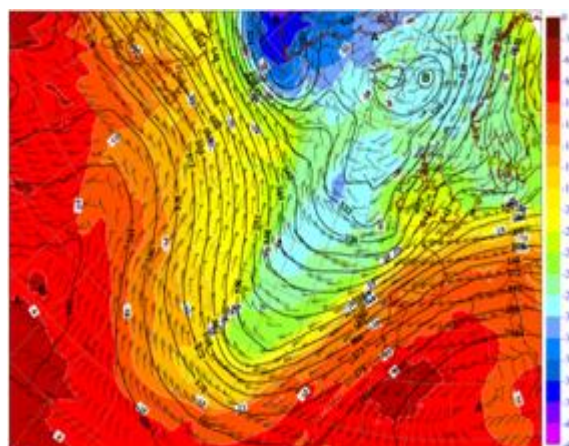
**Fig. A-59:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para a Península Ibérica (ECMWF), dia 16 às 00h



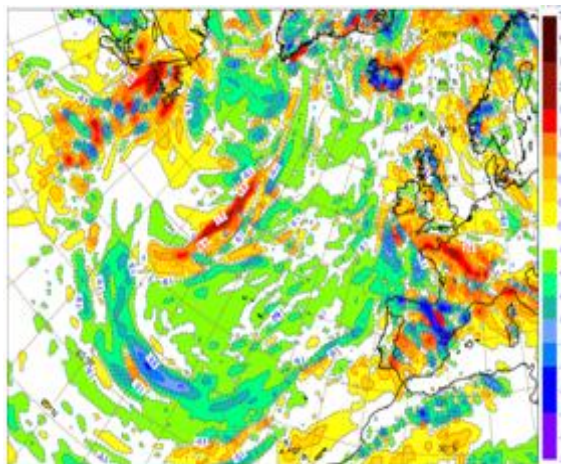
**Fig. A-60:** SYNOP Portugal Continental, dia 16 às 00h



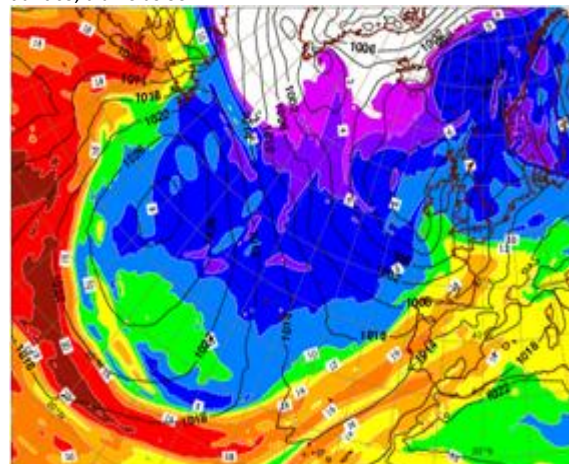
**Fig. A-61:** SYNOP Madeira, dia 16 às 00h



**Fig. A-62:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 500hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 00h



**Fig. A-63:** Análise da advecção de temperatura (°C/h) aos 850hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 00h



**Fig. A-64:** Análise do  $\theta_{sw}$  (°C) aos 850hPa e pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 16 às 00h



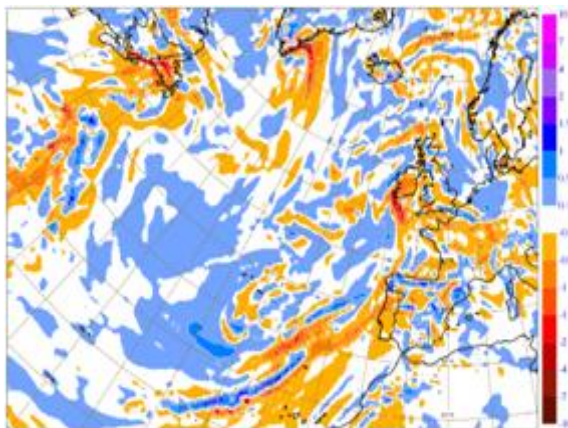


Fig. A-65: Análise da velocidade vertical (Pa/s) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 00h

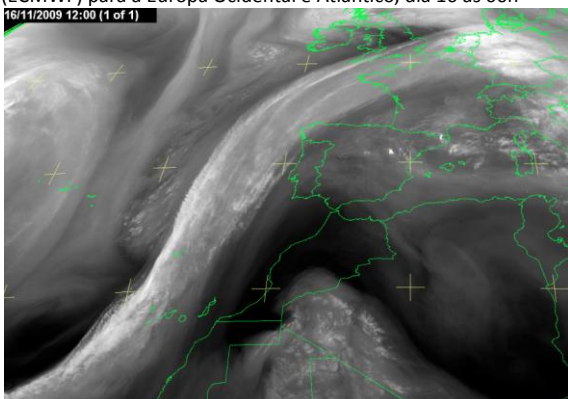


Fig. A-67: HRIT\_WV\_062, dia 16 às 12h

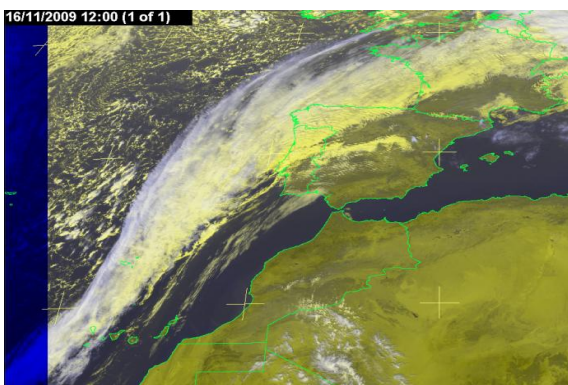


Fig. A-69: RGB\_nuvens\_HRV, dia 16 às 12h

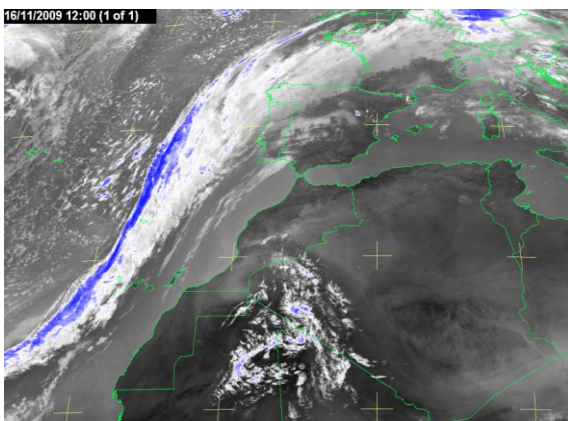


Fig. A-71: DIF\_062\_108, dia 16 às 12h

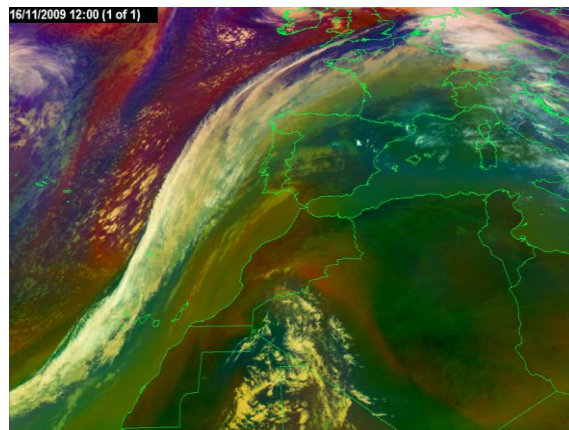


Fig. A-66: RGB\_massas\_de\_ar, dia 16 às 12h

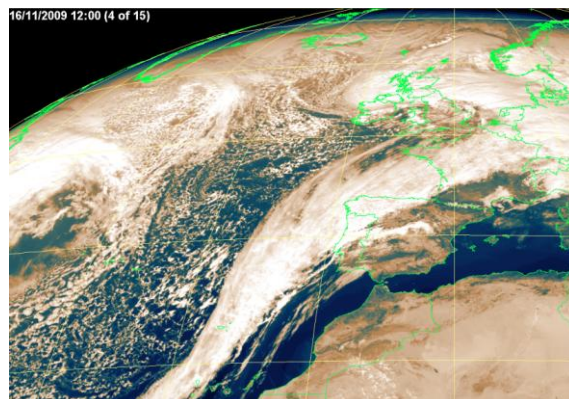


Fig. A-68: HRIT\_VIS\_006, dia 16 às 12h

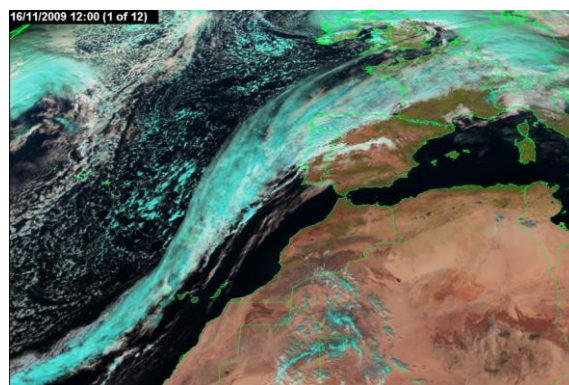


Fig. A-70: RGB\_natural, dia 16 às 12h

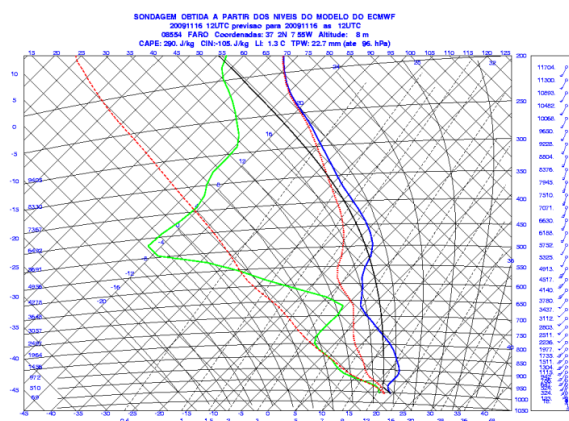
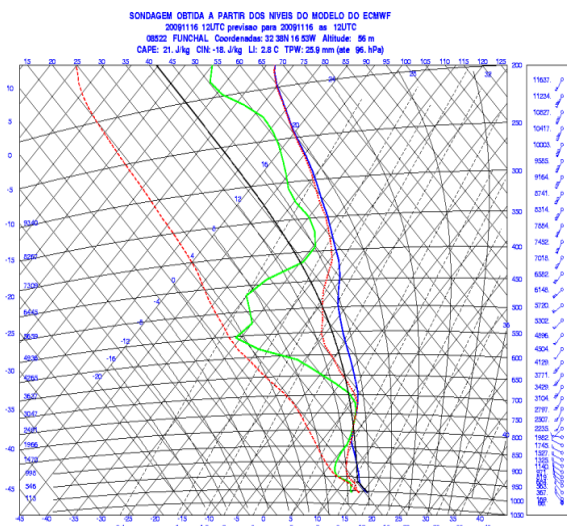
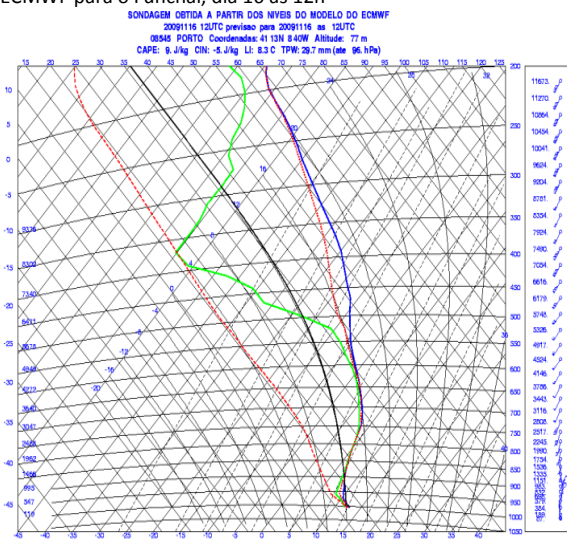


Fig. A-72: Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Faro, dia 16 às 12h

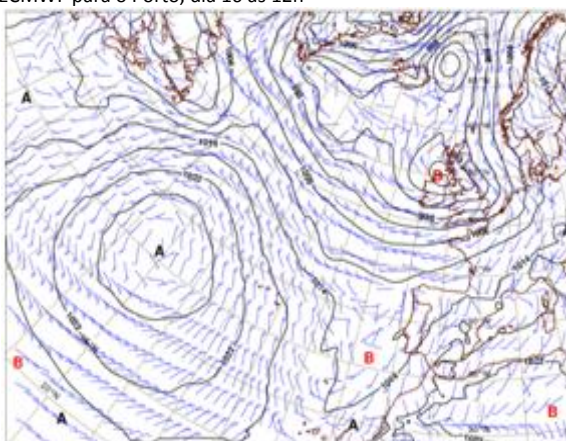




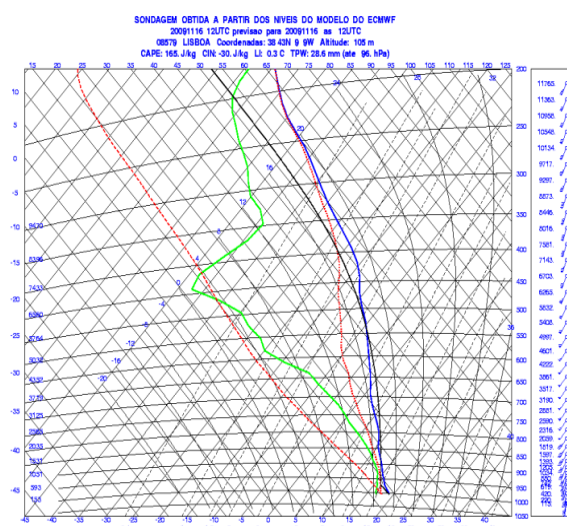
**Fig. A-73:** Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Funchal, dia 16 às 12h



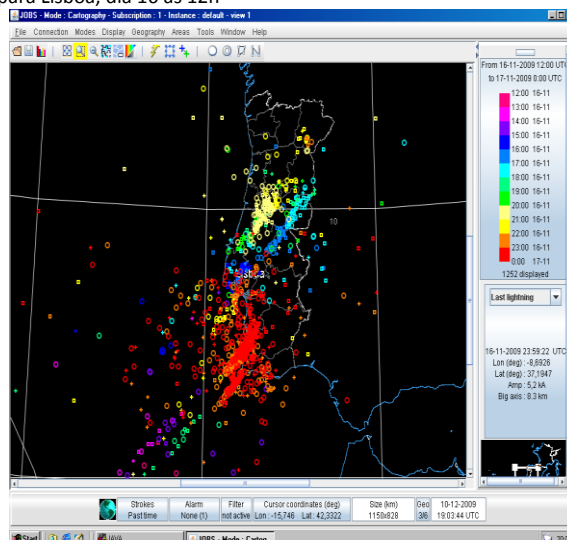
**Fig. A-75:** Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Porto, dia 16 às 12h



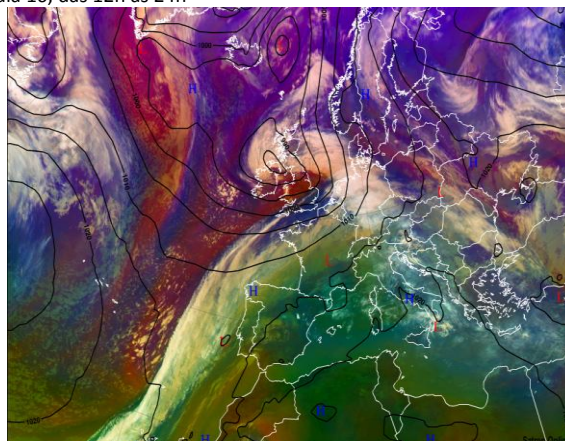
**Fig. A-77:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 16 às 12h



**Fig. A-74:** Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Lisboa, dia 16 às 12h

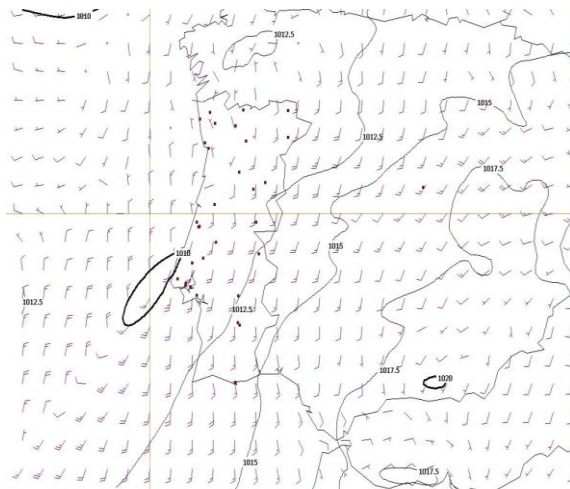


**Fig. A-76:** Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas, dia 16, das 12h às 24h

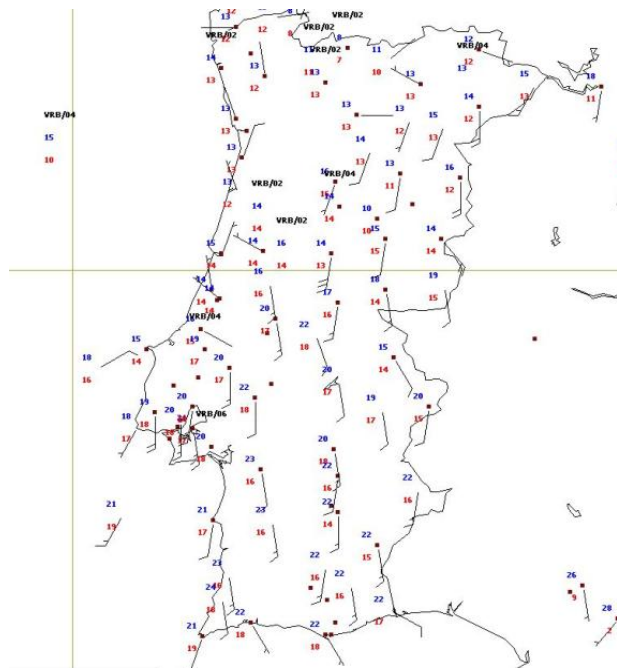


**Fig. A-78:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar, dia 16 às 12h

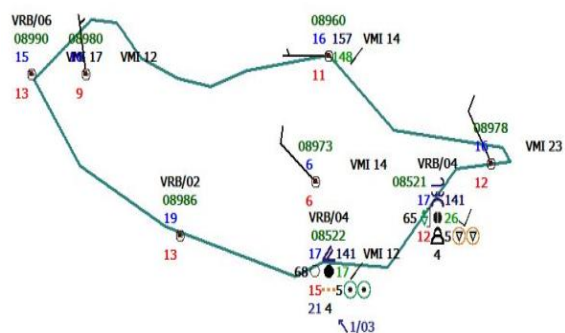




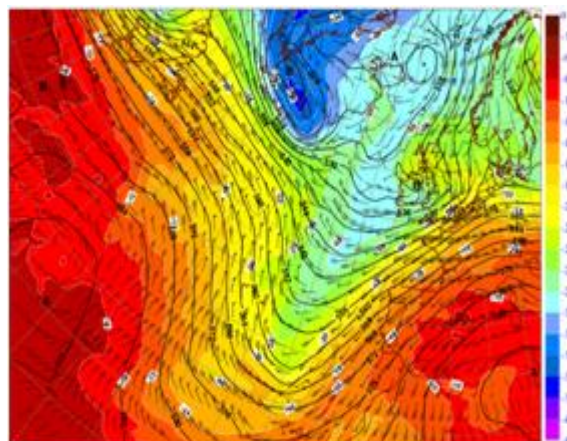
**Fig. A-79:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para a Península Ibérica (ECMWF), dia 16 às 12h



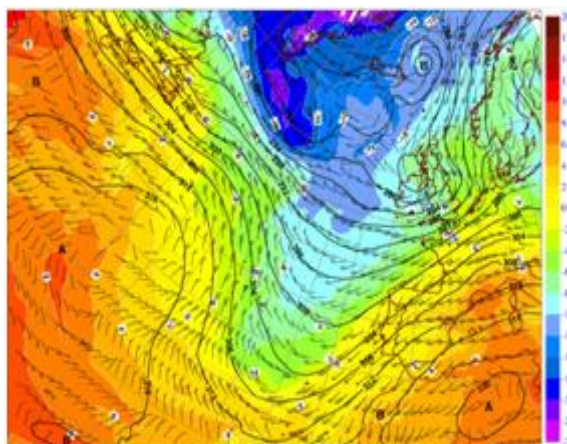
**Fig. A-80:** SYNOP Portugal Continental, dia 16 às 12h



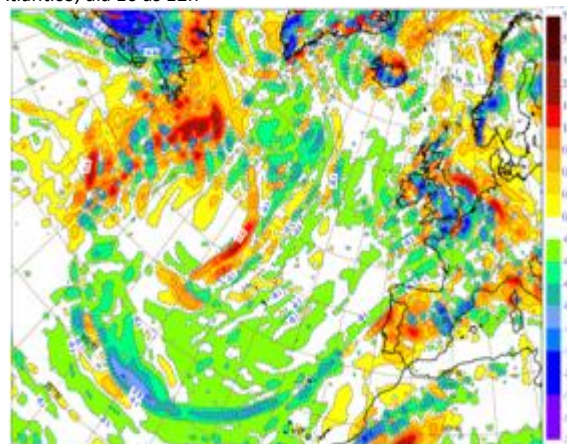
**Fig. A-81:** SYNOP Madeira, dia 16 às 12h



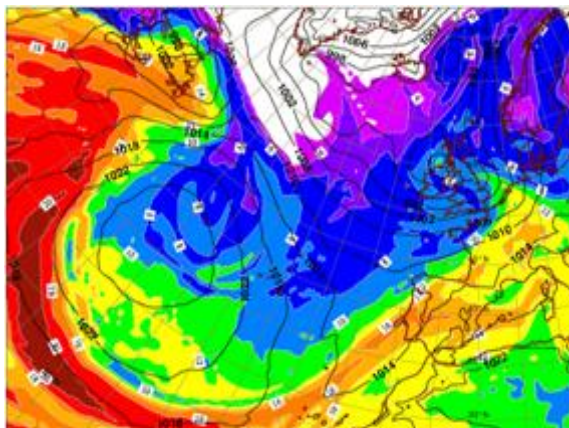
**Fig. A-82:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 500hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 12h



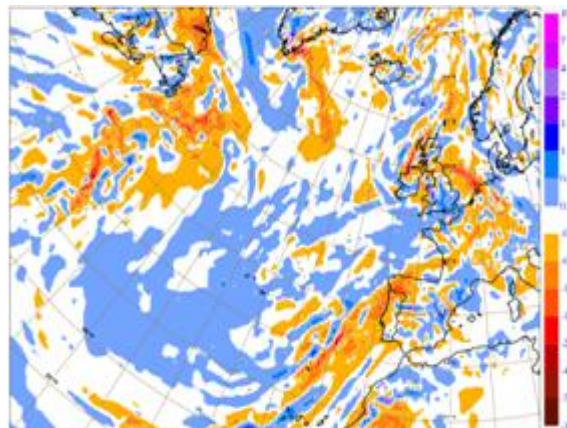
**Fig. A-83:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 12h



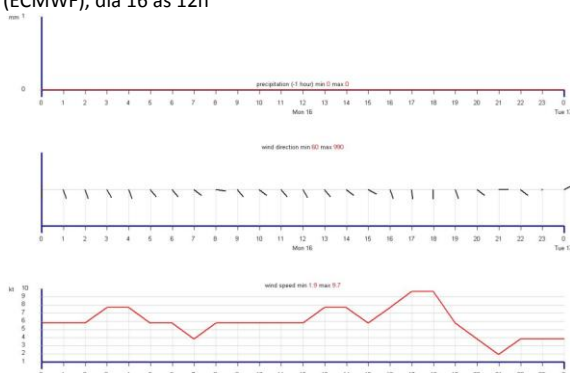
**Fig. A-84:** Análise da advecção de temperatura (°C/h) aos 850hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 12h



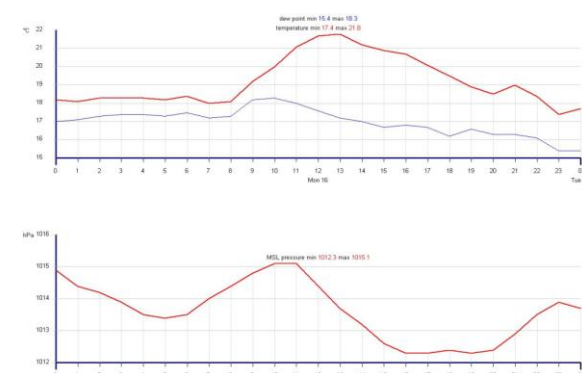
**Fig. A-85:** Análise do  $\theta_{sw}$  (°C) aos 850hPa e pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 16 às 12h



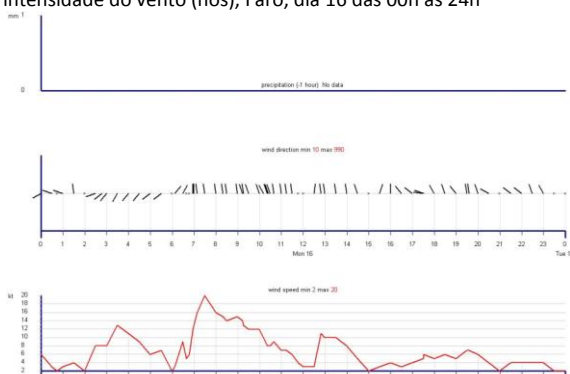
**Fig. A-86:** Análise da velocidade vertical (Pa/s) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 16 às 12h



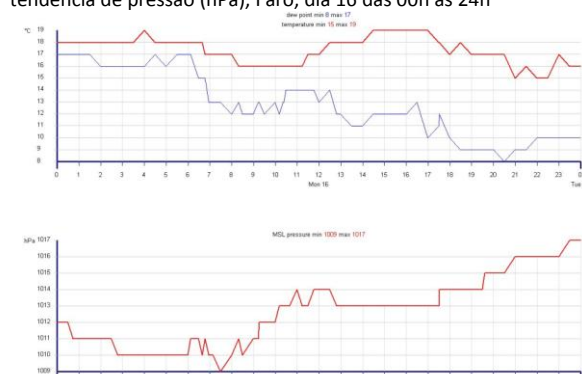
**Fig. A-87:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (°) e intensidade do vento (nós), Faro, dia 16 das 00h às 24h



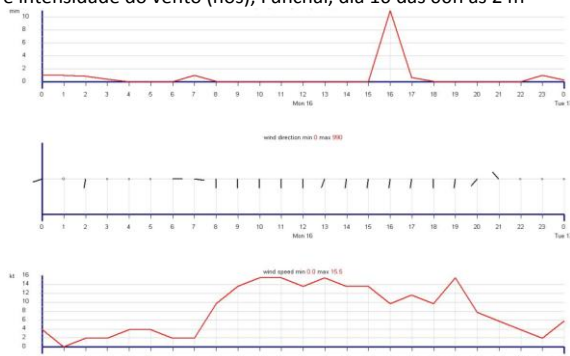
**Fig. A-88:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Faro, dia 16 das 00h às 24h



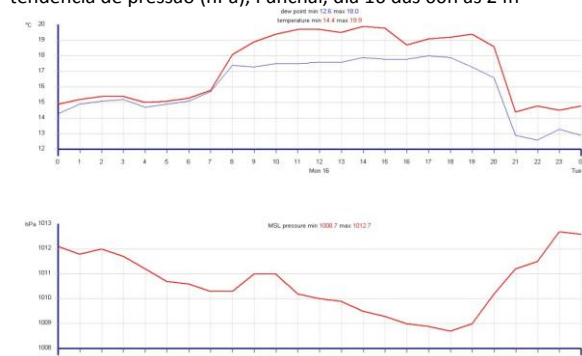
**Fig. A-89:** Precipitação acumulada (não disponível), direcção (°) e intensidade do vento (nós), Funchal, dia 16 das 00h às 24h



**Fig. A-90:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Funchal, dia 16 das 00h às 24h

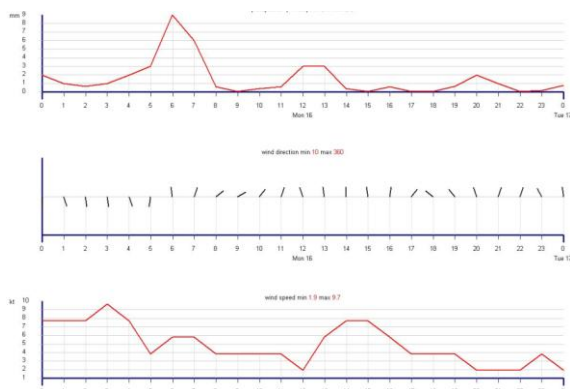


**Fig. A-91:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (°) e intensidade do vento, Lisboa, dia 16 das 00h às 24h

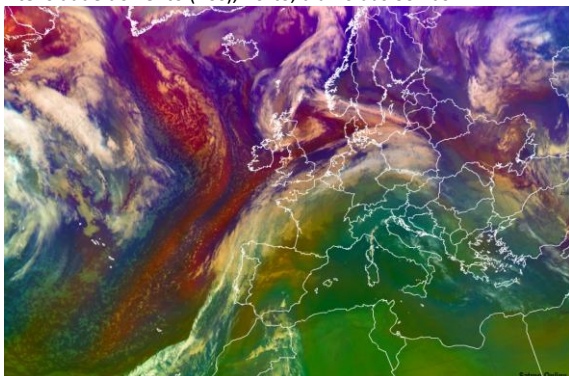


**Fig. A-92:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Lisboa, dia 16 das 00h às 24h

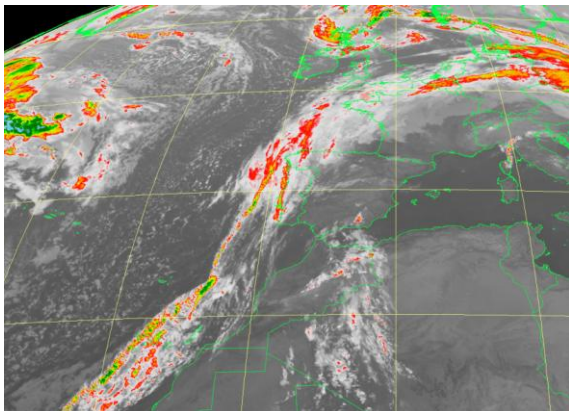




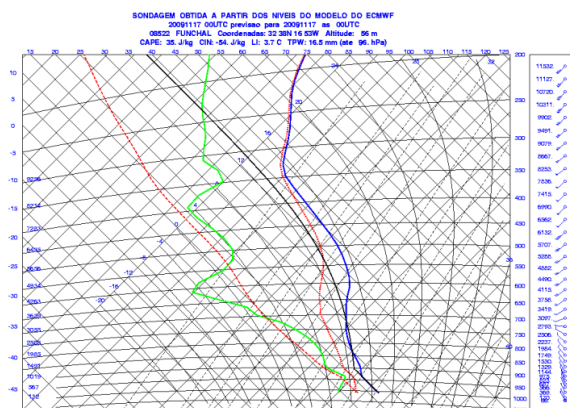
**Fig. A-93:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (°C) e intensidade do vento (nós), Porto, dia 16 das 00h às 24h



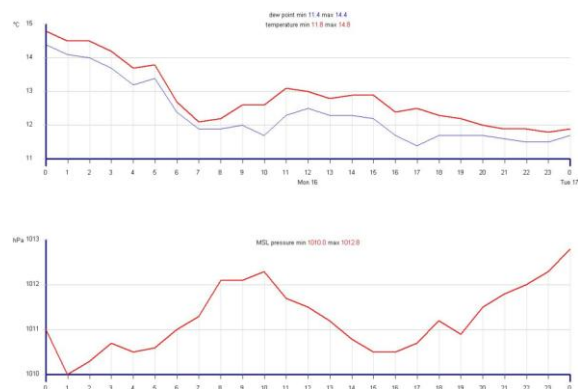
**Fig. A-95:** RGB\_massas\_de\_ar, dia 17 às 00h



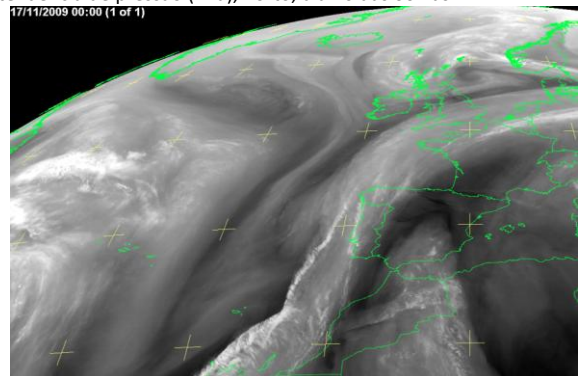
**Fig. A-97:** HRIT\_IR\_108, dia 17 às 00h



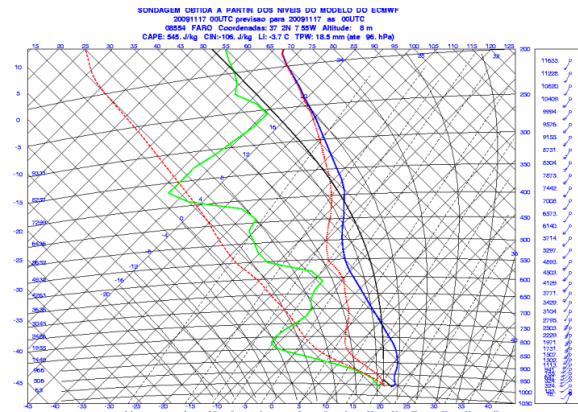
**Fig. A-99:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Funchal, dia 17 às 00h



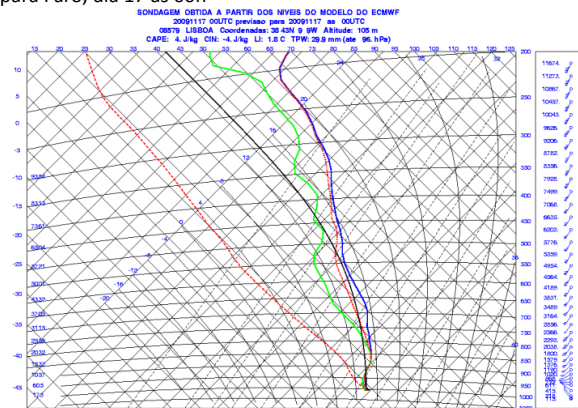
**Fig. A-94:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Porto, dia 16 das 00h às 24h



**Fig. A-96:** HRIT\_WV\_062, dia 17 às 00h

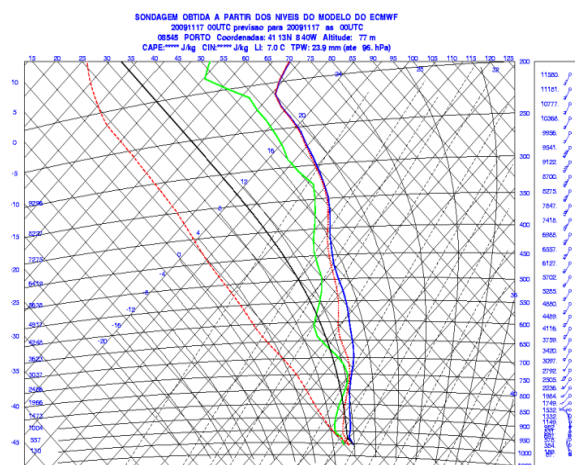


**Fig. A-98:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Faro, dia 17 às 00h

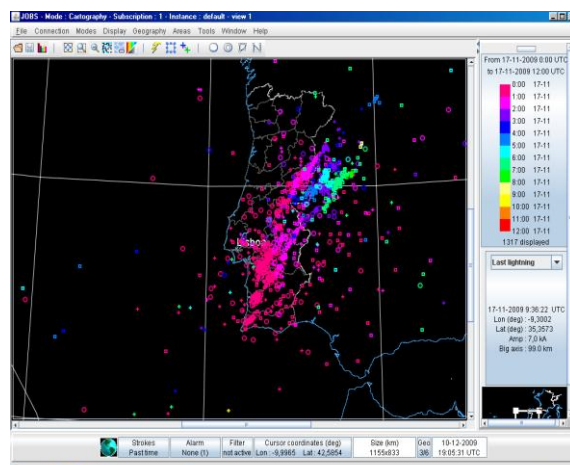


**Fig. A-100:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Lisboa, dia 17 às 00h

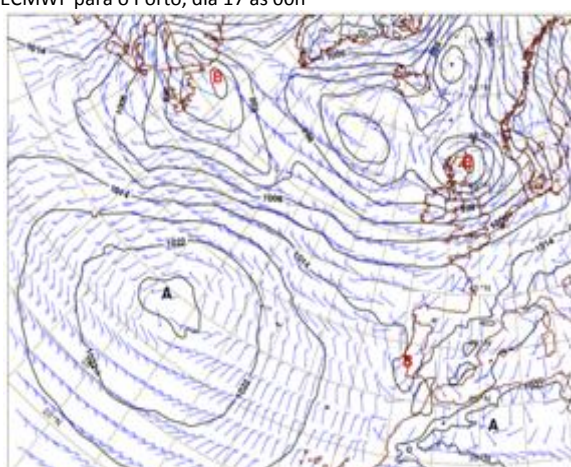




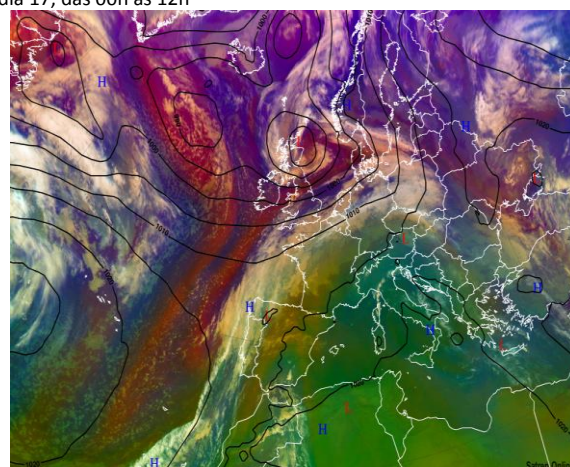
**Fig. A-101:** Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Porto, dia 17 às 00h



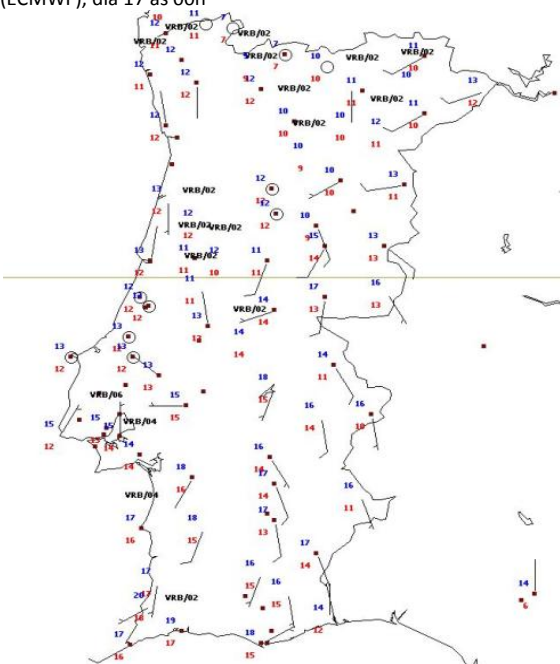
**Fig. A-102:** Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas, dia 17, das 00h às 12h



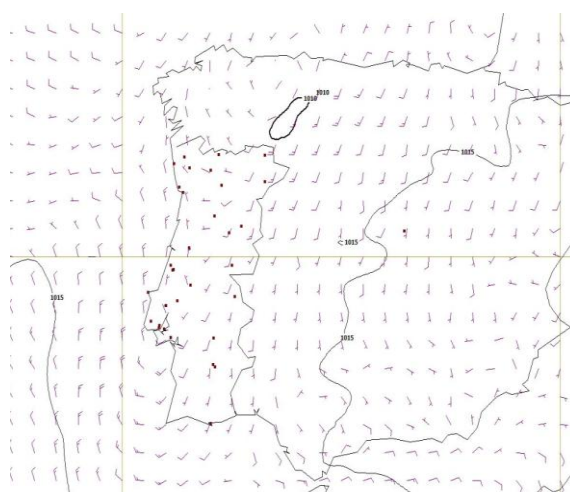
**Fig. A-103:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 17 às 00h



**Fig. A-104:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar, dia 17 às 00h



**Fig. A-105:** SYNOP Portugal Continental, dia 17 às 00h



**Fig. A-106:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para a Península Ibérica (ECMWF), dia 17 às 00h



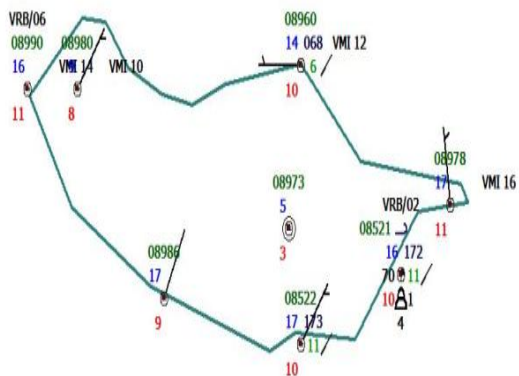


Fig. A-107: SYNOP Madeira, dia 17 às 00h

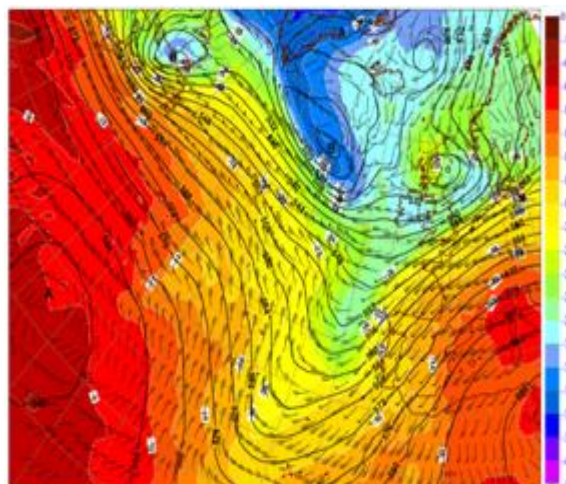


Fig. A-108: Análise da altura de geopotencial (dam), vento (nós) e temperatura aos 500hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 17 às 00h

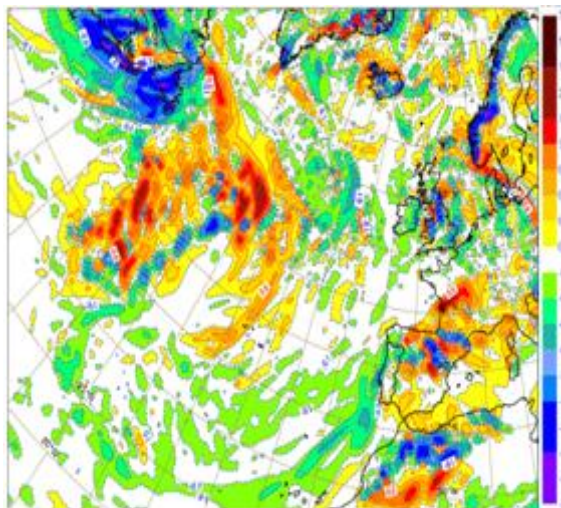


Fig. A-109: Análise da advecção de temperatura ( $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ) aos 850hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 17 às 00h

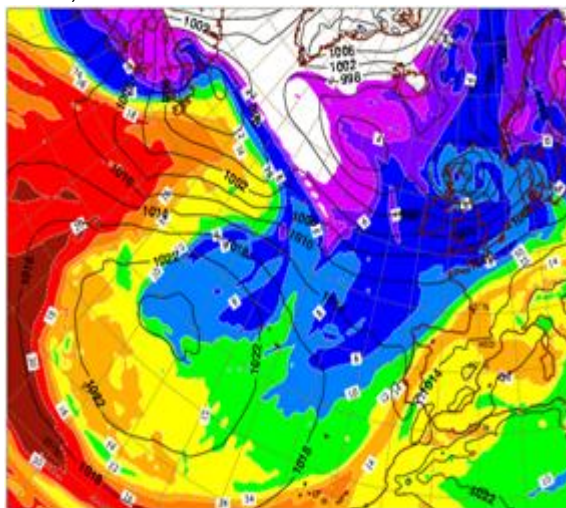


Fig. A-110: Análise do  $\theta_{sw}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) aos 850hPa e pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 17 às 00h

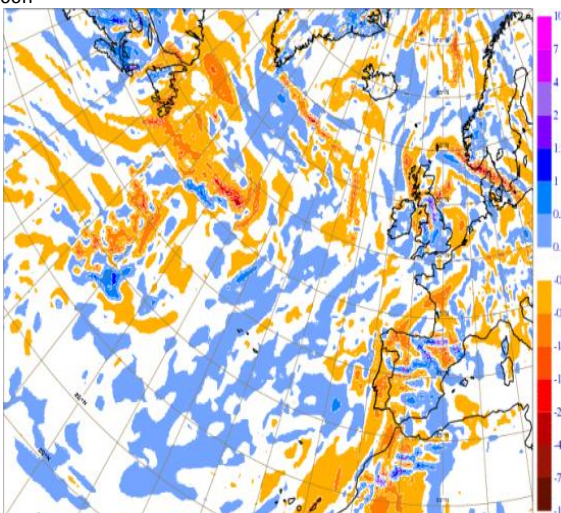


Fig. A-111: Análise da velocidade vertical (Pa/s) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 17 às 00h

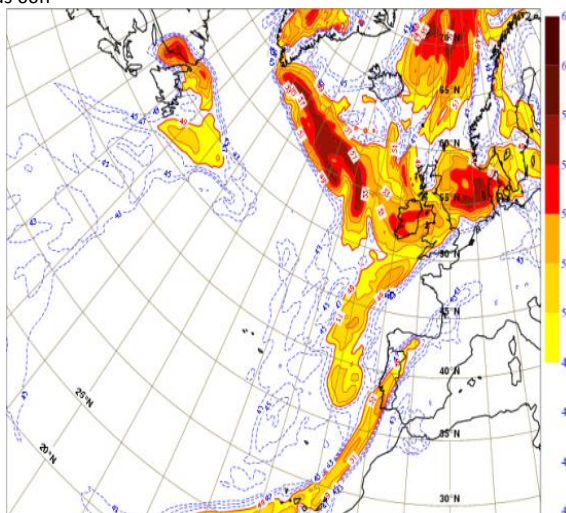


Fig. A-112: Análise do índice de estabilidade TT ( $^{\circ}\text{C}$ ) para a Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 17 às 00h



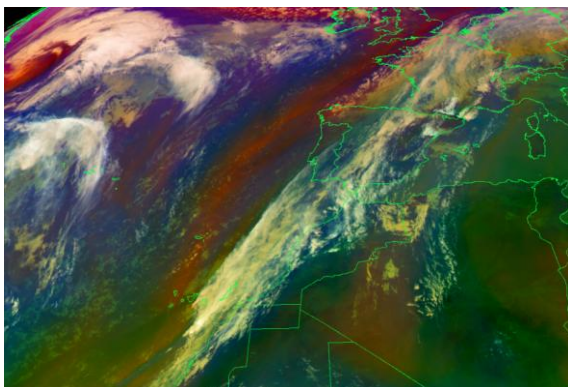


Fig. A-113: RGB\_massas\_de\_ar, dia 17 às 12h

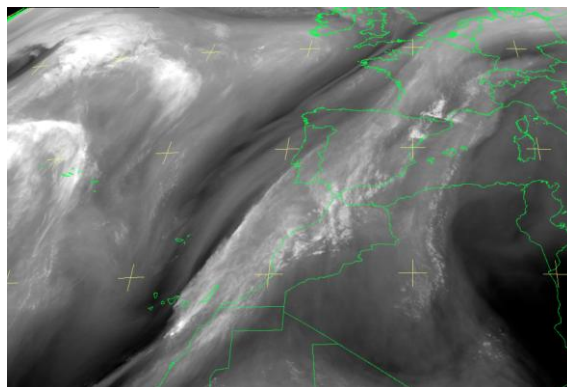


Fig. A-114: HRIT\_WV\_062, dia 17 às 12h

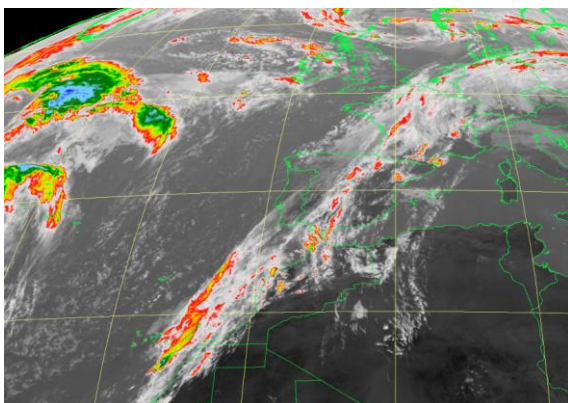


Fig. A-115: HRIT\_IR\_108, dia 17 às 12h

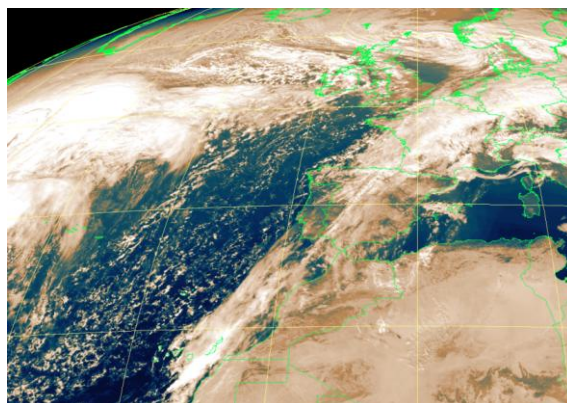


Fig. A-116: HRIT\_VIS\_006, dia 17 às 12h

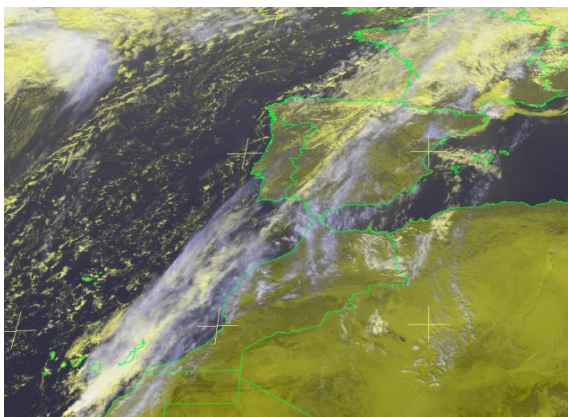


Fig. A-117: RGB\_nuvens\_HRV, dia 17 às 12h

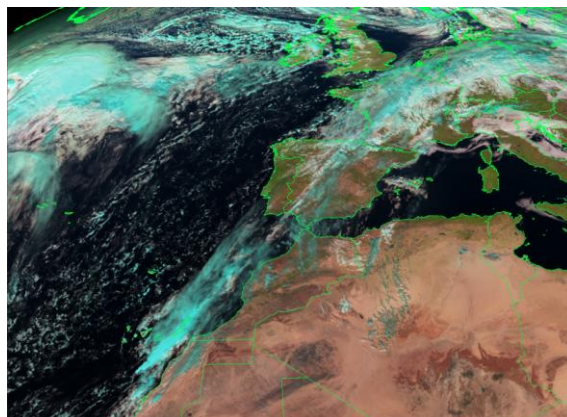


Fig. A-118: RGB\_natural, dia 17 às 12h

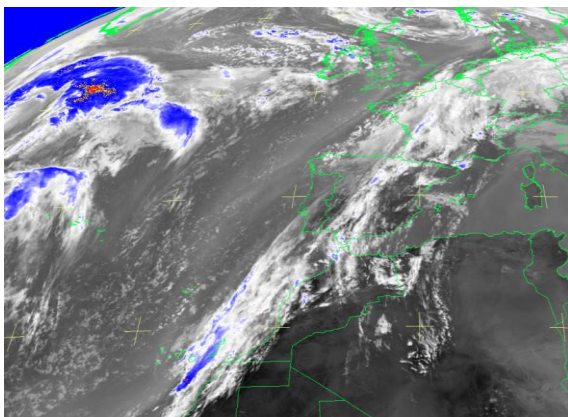


Fig. A-119: DIF\_062\_108, dia 17 às 12h

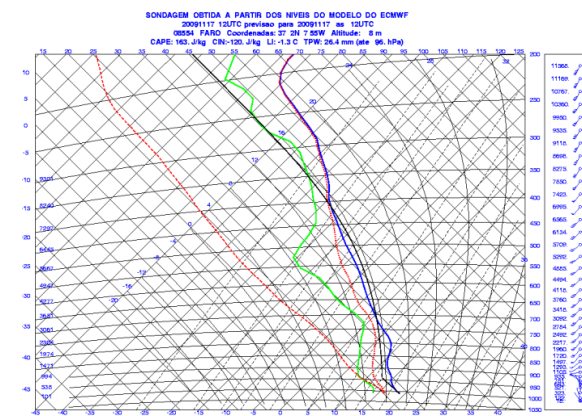
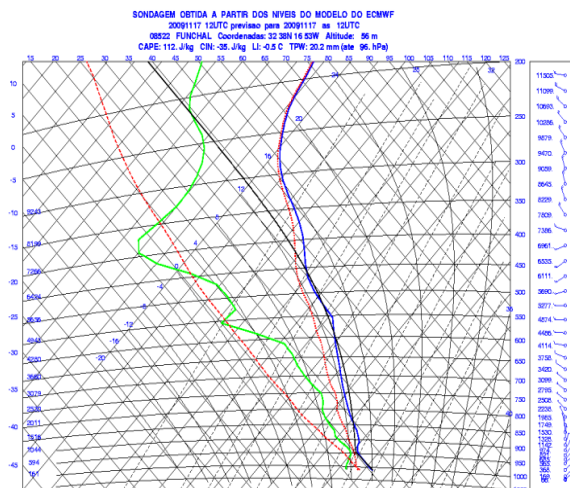
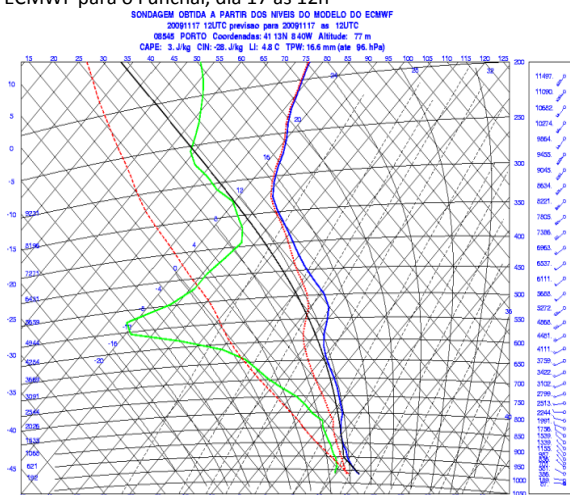


Fig. A-120: Tefograma obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Faro, dia 17 às 12h

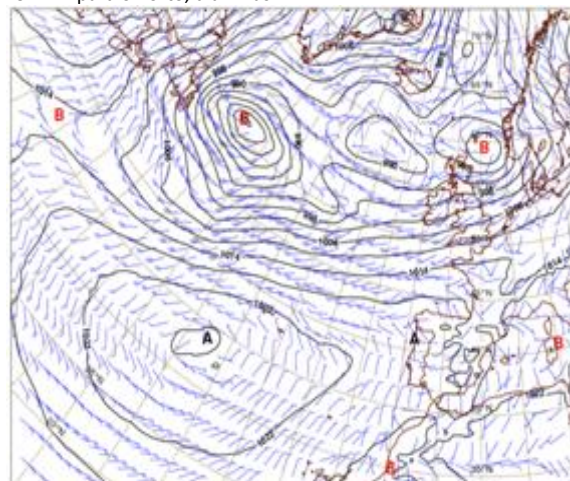




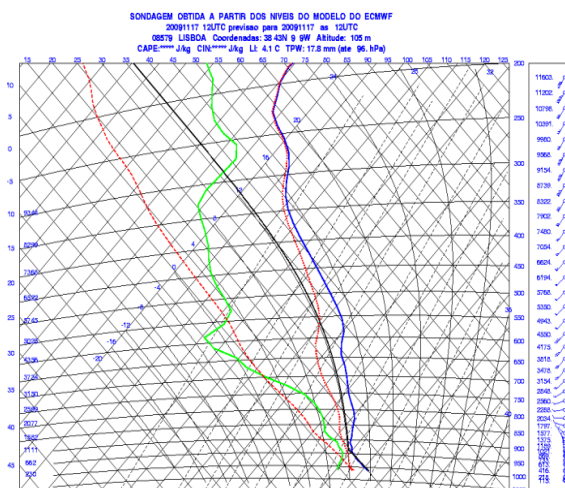
**Fig. A-121:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Funchal, dia 17 às 12h



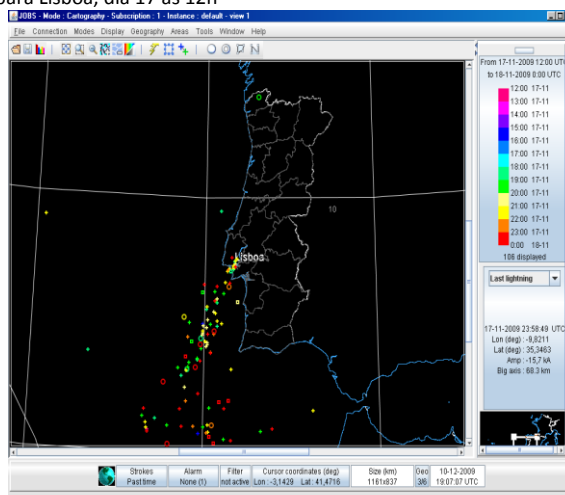
**Fig. A-123:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Porto, dia 17 às 12h



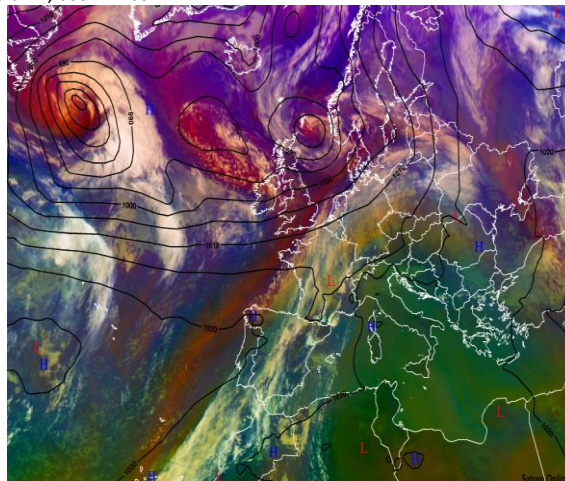
**Fig. A-125:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 17 às 12h



**Fig. A-122:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Lisboa, dia 17 às 12h



**Fig. A-124:** Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas, dia 17, das 12h às 24h



**Fig. A-126:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar, dia 17 às 12h



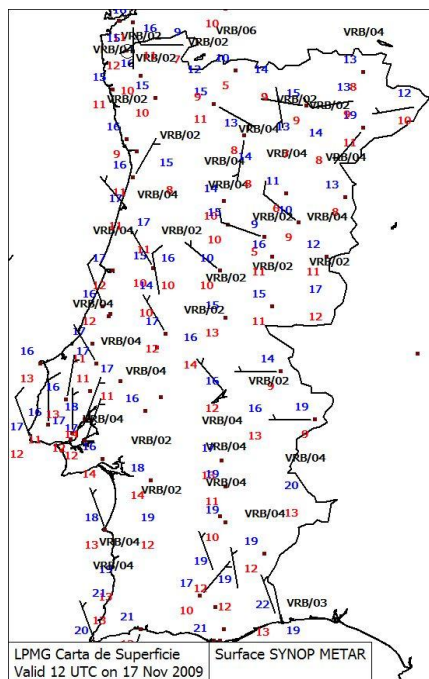


Fig. A-127: SYNOP Portugal Continental, dia 17 às 12h

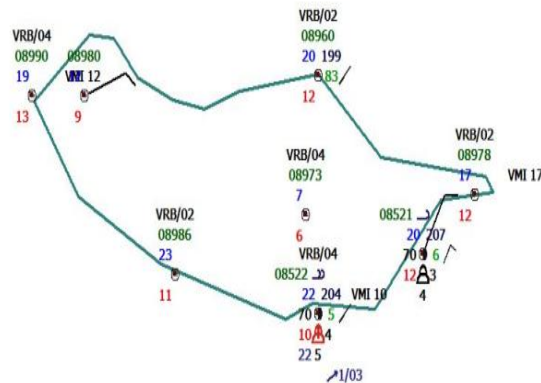


Fig. A-128: SYNOP Madeira, dia 17 às 12h

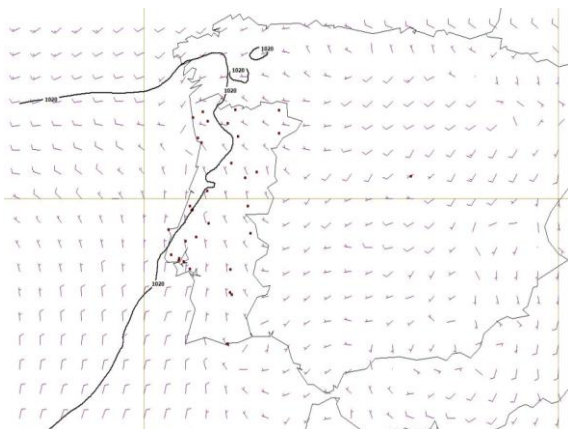


Fig. A-129: Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para a Península Ibérica (ECMEF), dia 17 às 12h

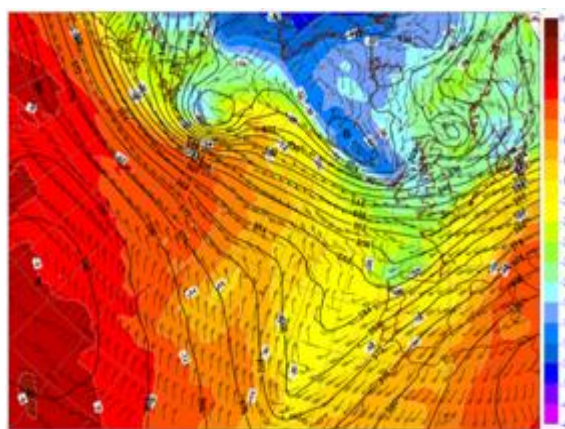


Fig. A-130: Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 500hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 17 às 12h

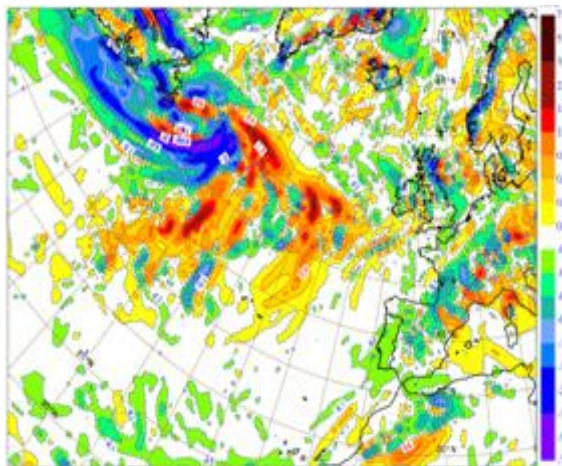


Fig. A-131: Análise da advecção de temperatura (°C/h) aos 850hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 17 às 12h

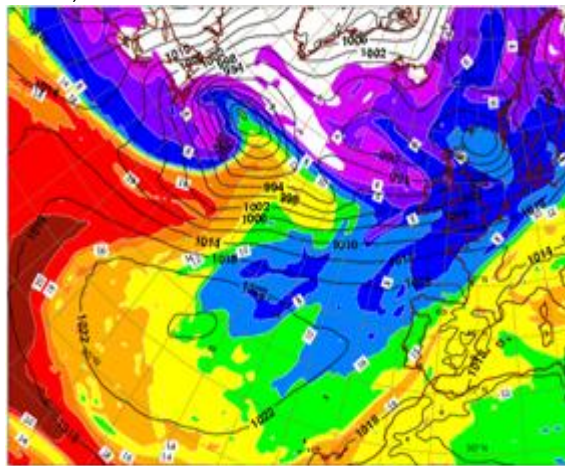
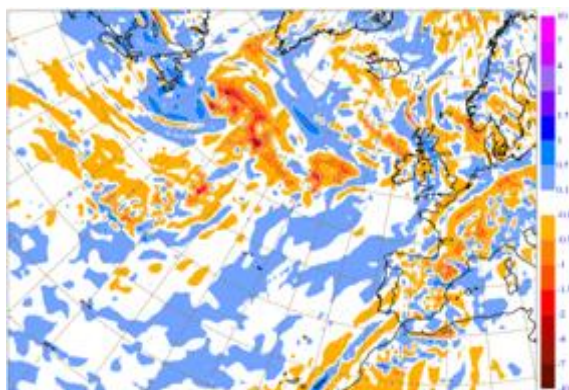
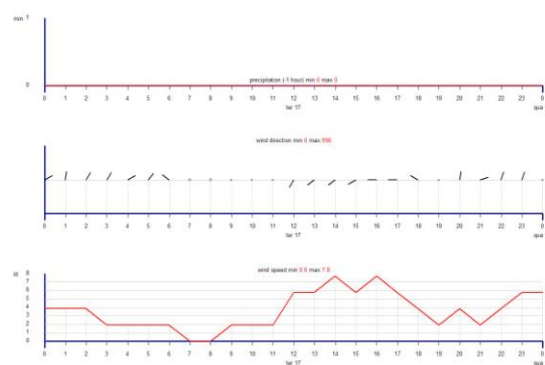


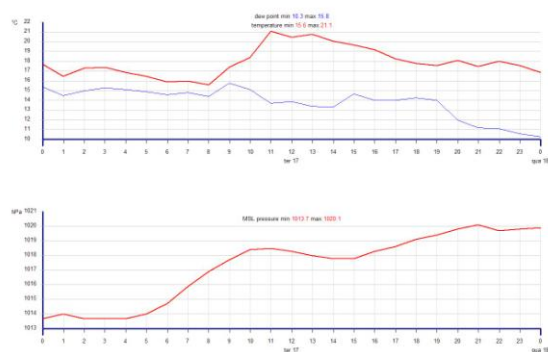
Fig. A-132: Análise do  $\theta_{sw}$  (°C) aos 850hPa e pressão média ao nível do mar (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 17 às 12h



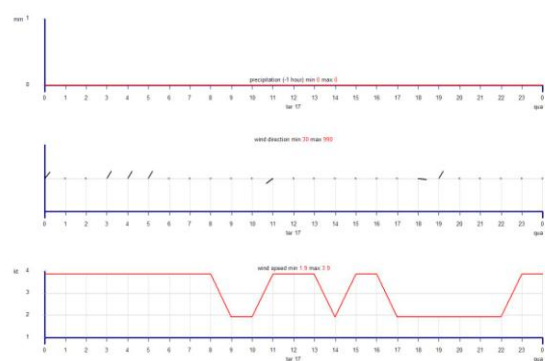
**Fig. A-133:** Análise da velocidade vertical (Pa/s) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 17 às 12h



**Fig. A-134:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (°) e intensidade do vento (nós), Faro, dia 17 das 00h às 24h



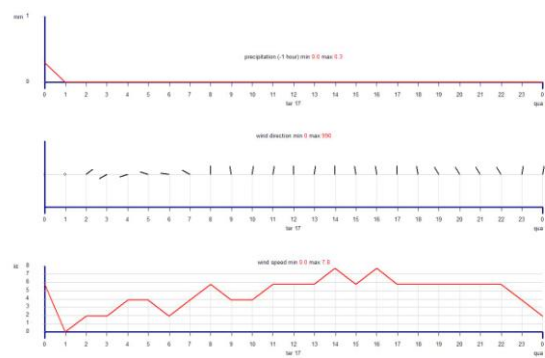
**Fig. A-135:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Faro, dia 17 das 00h às 24h



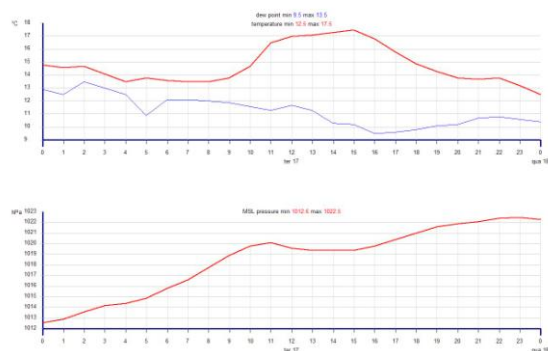
**Fig. A-136:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (°) e intensidade do vento (nós), Funchal, dia 17 das 00h às 24h



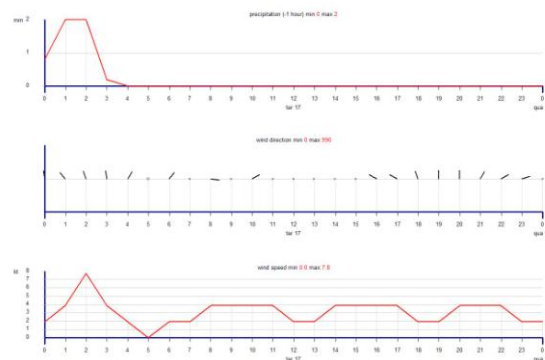
**Fig. A-137:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Funchal, dia 17 das 00h às 24h



**Fig. A-138:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (°) e intensidade do vento (nós), Lisboa, dia 17 das 00h às 24h

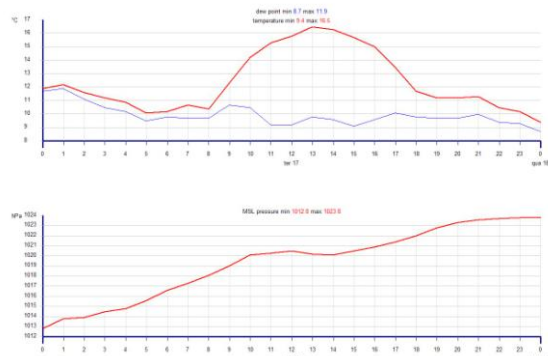


**Fig. A-139:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Lisboa, dia 17 das 00h às 24h

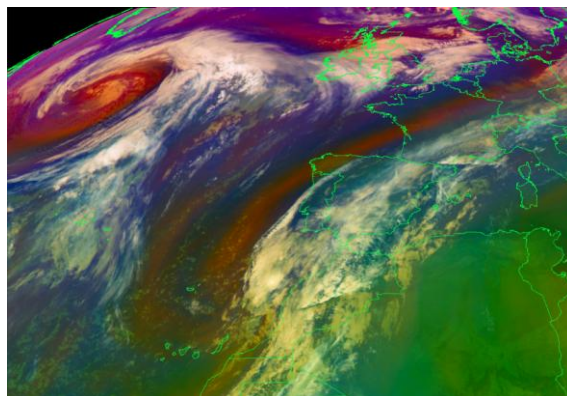


**Fig. A-140:** Precipitação acumulada (mm/h), direcção (°) e intensidade do vento (nós), Porto, dia 17 das 00h às 24h

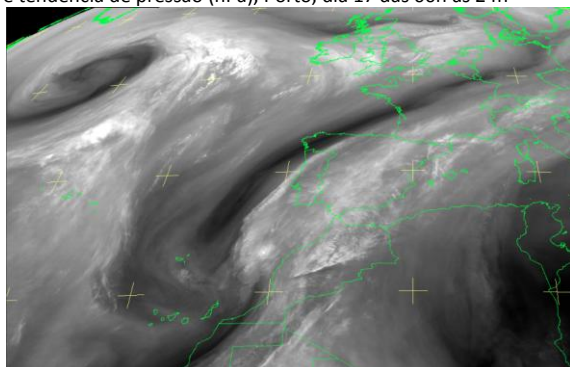




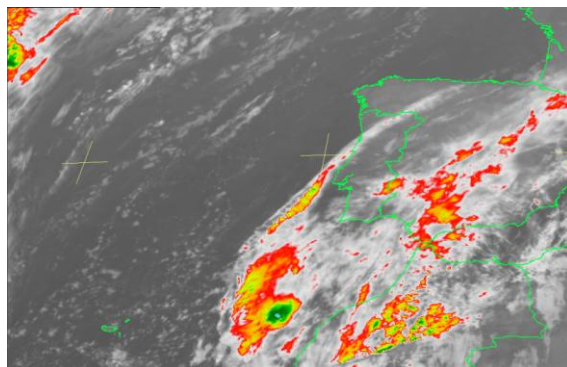
**Fig. A-141:** Temperatura, temperatura de ponto de orvalho (°C) e tendência de pressão (hPa), Porto, dia 17 das 00h às 24h



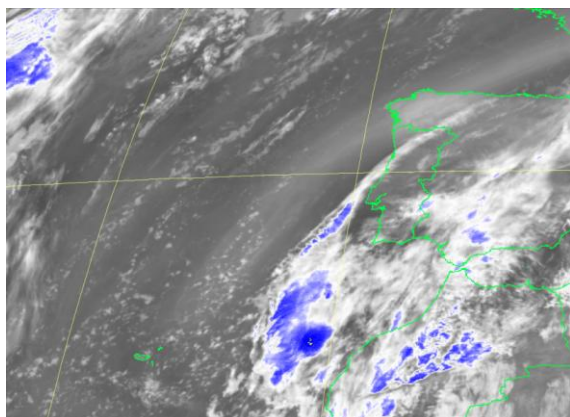
**Fig. A-142:** RGB\_massas\_de\_ar, dia 18 às 00h



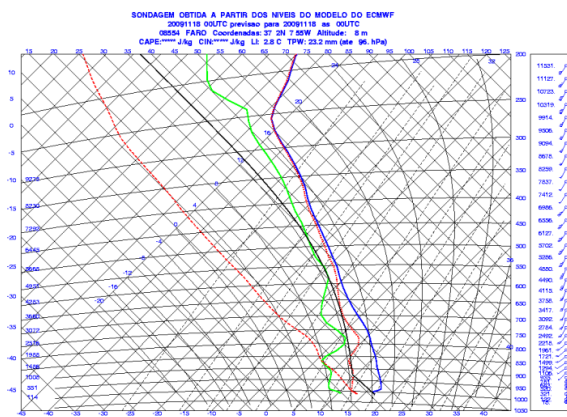
**Fig. A-143:** HRIT\_WV\_062, dia 18 às 00h



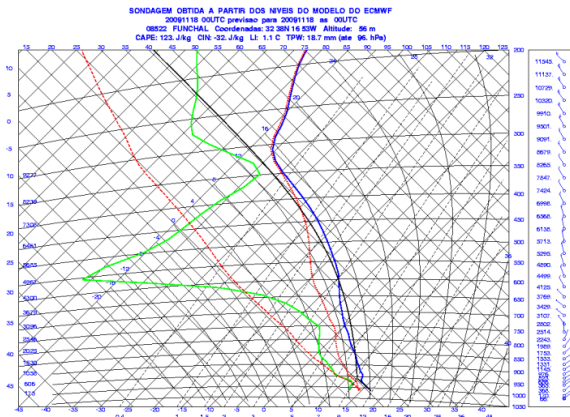
**Fig. A-144:** HRIT\_IR\_108, dia 18 às 00h



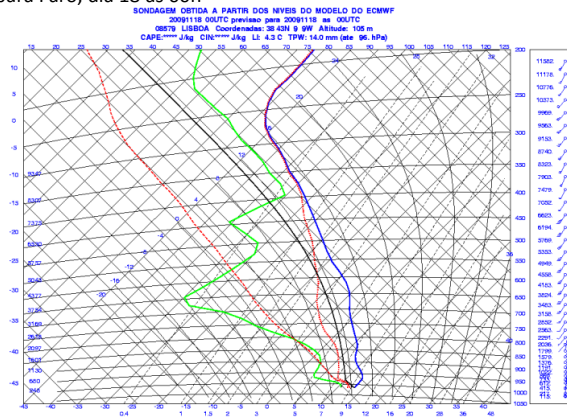
**Fig. A-145:** DIF\_062\_108, dia 18 às 00h



**Fig. A-146:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Faro, dia 18 às 00h

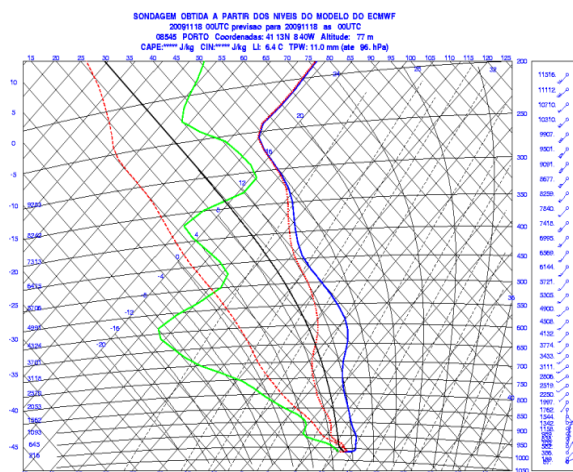


**Fig. A-147:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Funchal, dia 18 às 00h

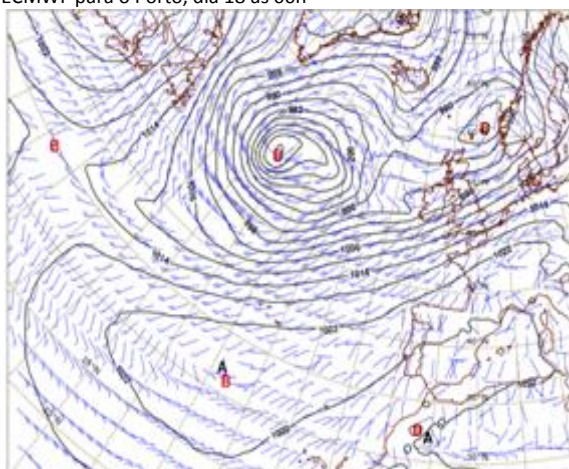


**Fig. A-148:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para Lisboa, dia 18 às 00h

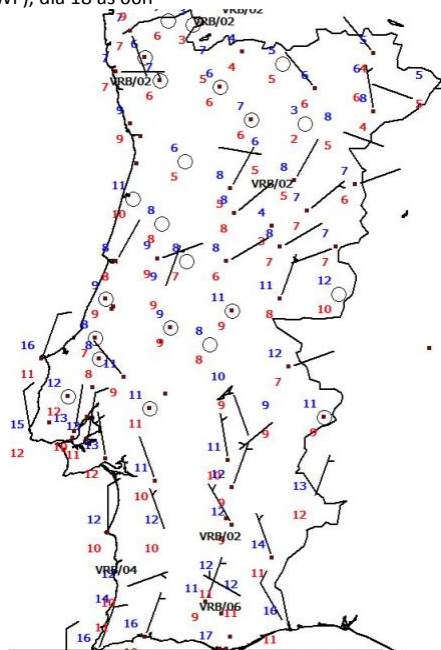




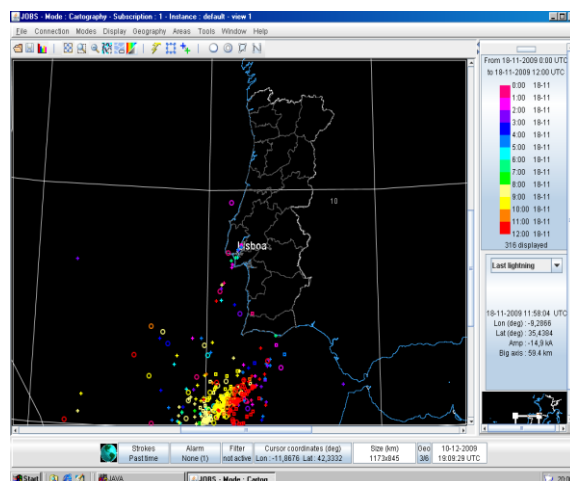
**Fig. A-149:** Tefigrama obtido a partir dos níveis do modelo ECMWF para o Porto, dia 18 às 00h



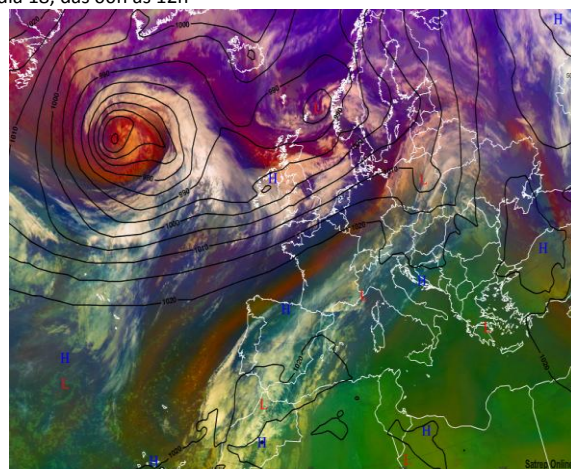
**Fig. A-151:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para Europa Ocidental e Atlântico (ECMWF), dia 18 às 00h



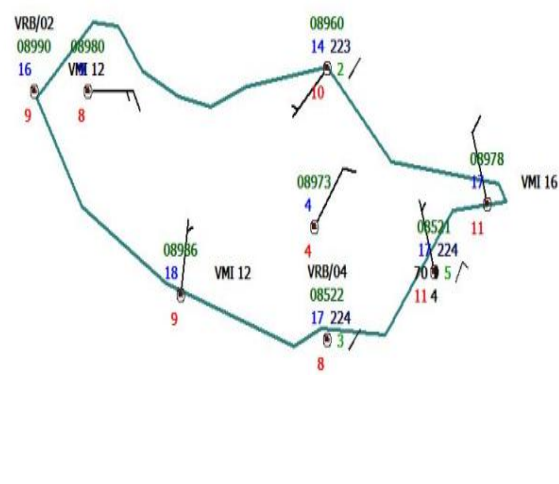
**Fig. A-153:** SYNOP Portugal Continental, dia 18 às 00h



**Fig. A-150:** Localização e hora de descargas eléctricas atmosféricas, dia 18, das 00h às 12h

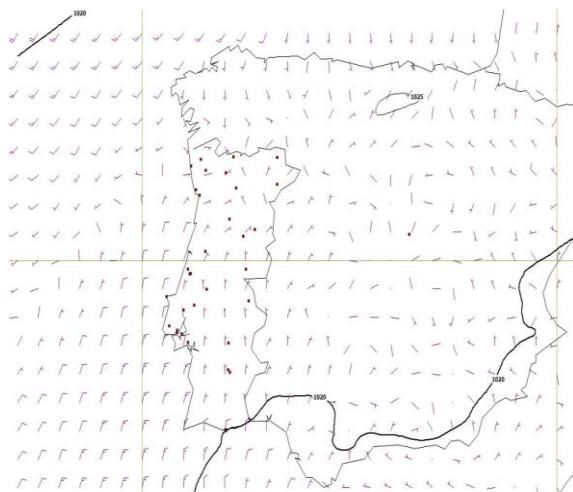


**Fig. A-152:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) para a Europa e Atlântico (ECMWF) + RGB\_massas\_de\_ar, dia 18 às 00h

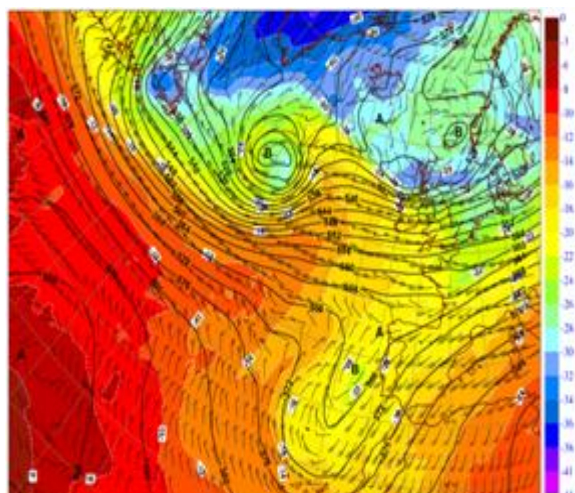


**Fig. A-154:** SYNOP Madeira, dia 18 às 00h

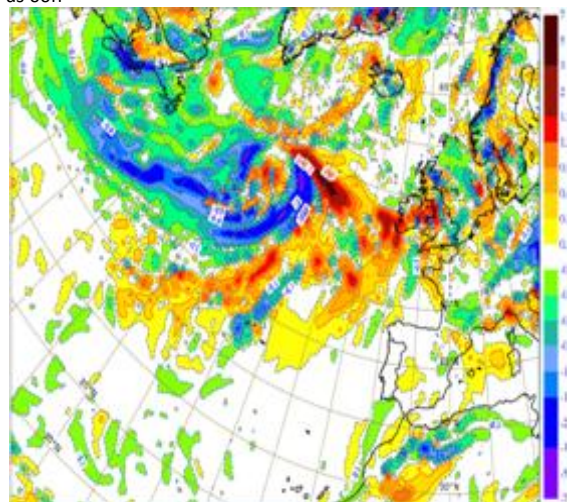




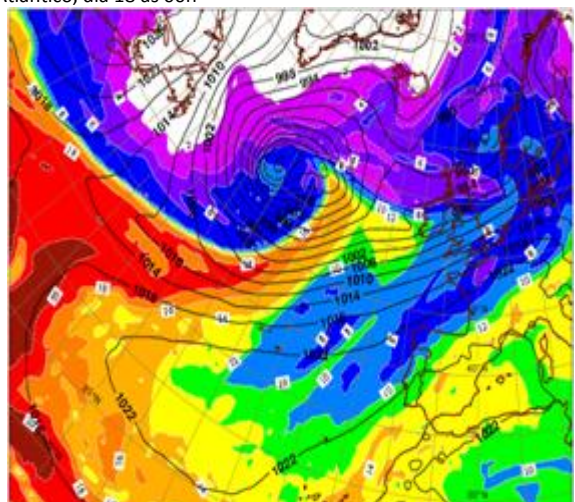
**Fig. A-155:** Análise da pressão média ao nível do mar (hPa) e vento aos 10m (nós) para a Península Ibérica (ECMWF), dia 18 às 00h



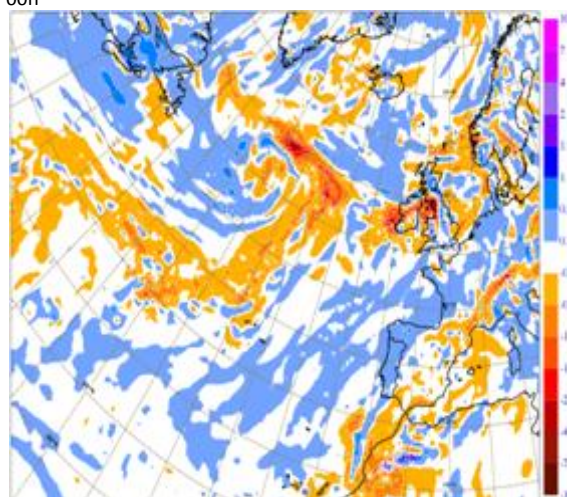
**Fig. A-156:** Análise da altura de geopotencial (damgp), vento (nós) e temperatura (°C) aos 500hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 18 às 00h



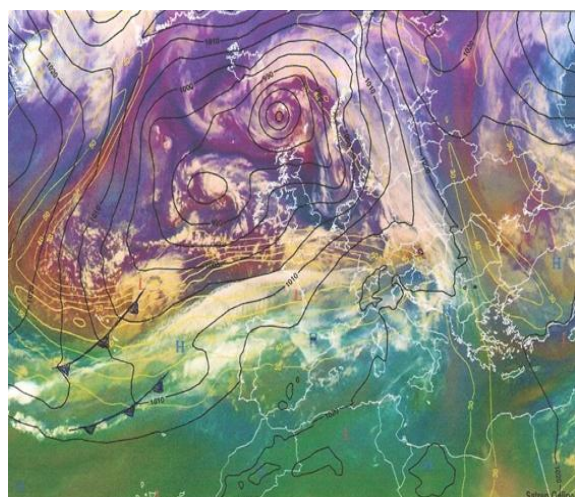
**Fig. A-157:** Análise da advecção de temperatura (°C/h) aos 850hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 18 às 00h



**Fig. A-158:** Análise do  $\theta_{sw}$  (°C) aos 850hPa e pressão média ao nível do mar (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 18 às 00h

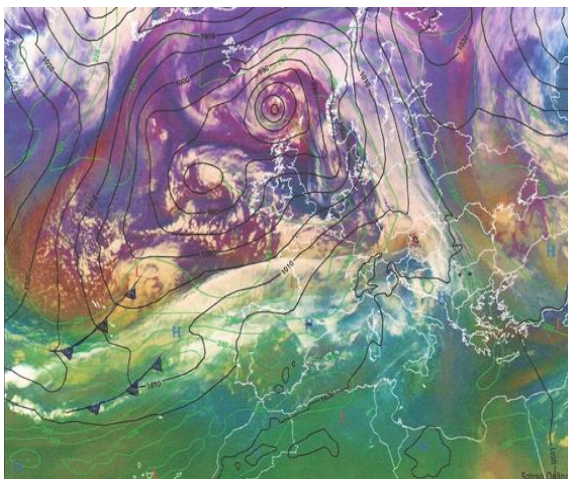


**Fig. A-159:** Análise da velocidade vertical (Pa/s) aos 700hPa (ECMWF) para a Europa Ocidental e Atlântico, dia 18 às 00h

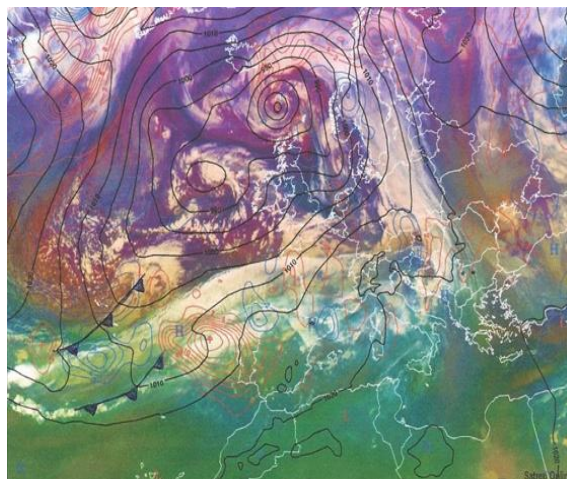


**Fig. A-160:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + isotáxicas (m/s) + frentes frias, dia 15 às 00h

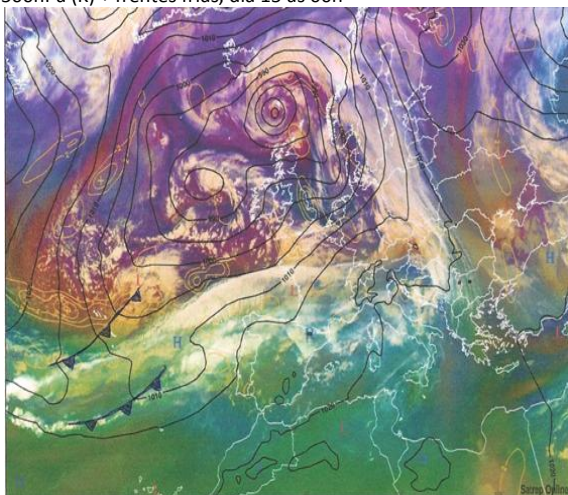




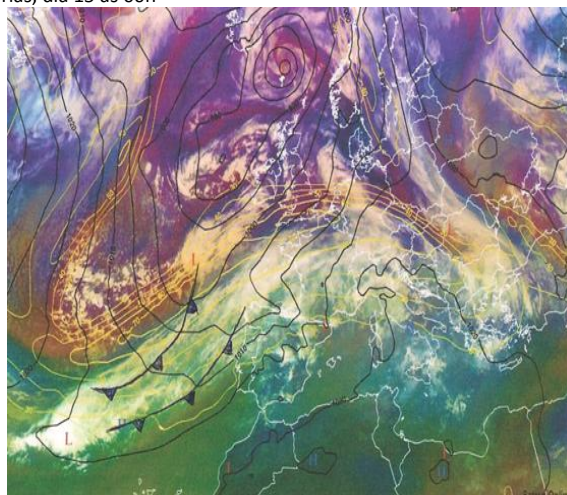
**Fig. A-161:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa (K) + frentes frias, dia 15 às 00h



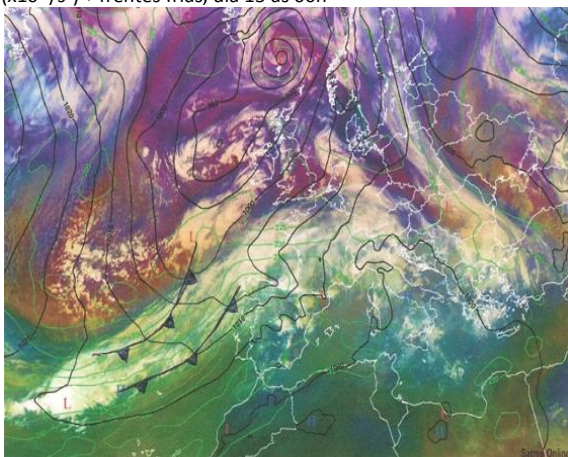
**Fig. A-162:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de temperatura aos 700hPa (°C/12h) + frentes frias, dia 15 às 00h



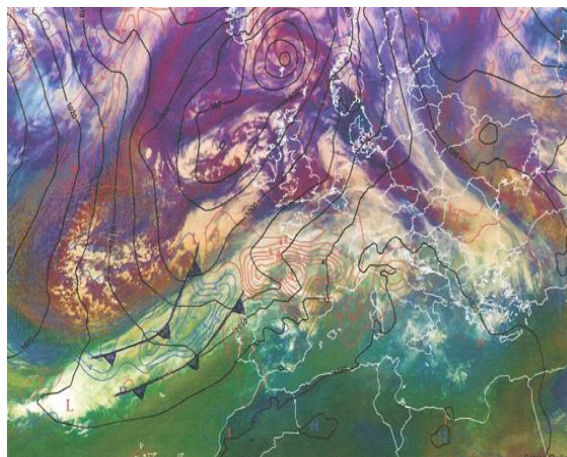
**Fig. A-163:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de vorticidade positiva aos 300hPa ( $\times 10^{-9}/s^2$ ) + frentes frias, dia 15 às 00h



**Fig. A-164:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + isotáxicas (m/s) + frentes frias, dia 15 às 12h

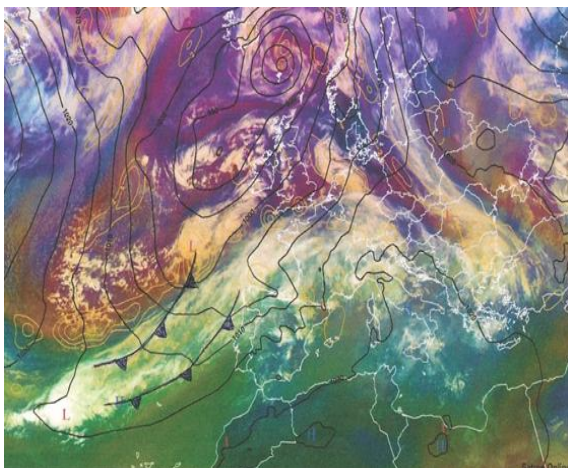


**Fig. A-165:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa (K) + frentes frias, dia 15 às 12h



**Fig. A-166:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de temperatura aos 700hPa (°C/12h) + frentes frias, dia 15 às 12h

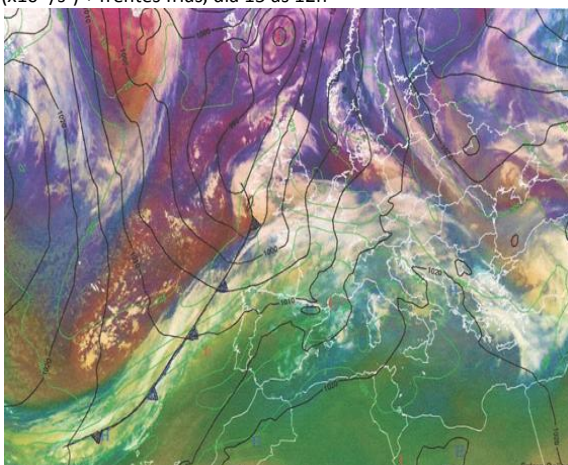




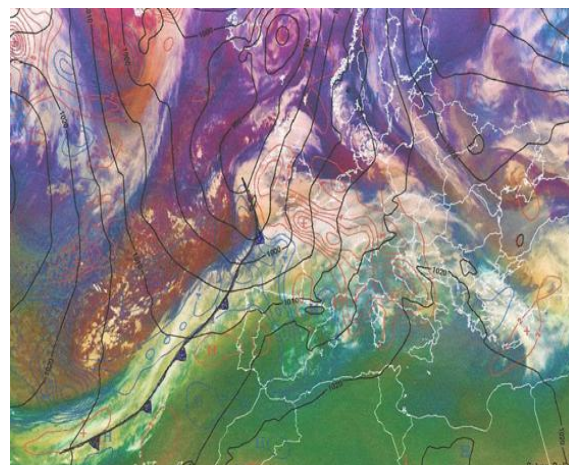
**Fig. A-167:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de vorticidade positiva aos 300hPa ( $\times 10^{-9}/s^2$ ) + frentes frias, dia 15 às 12h



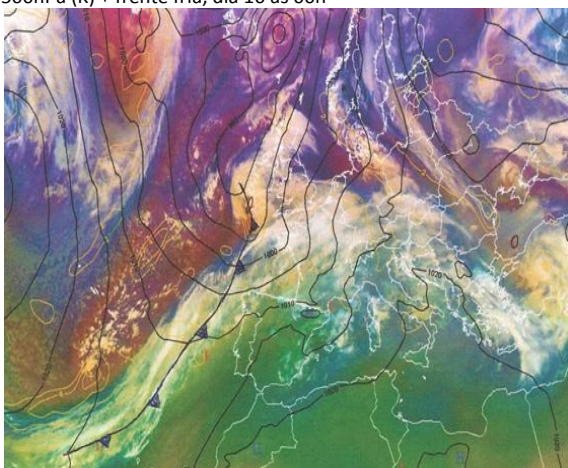
**Fig. A-168:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + isotáxicas (m/s) + frente fria, dia 16 às 00h



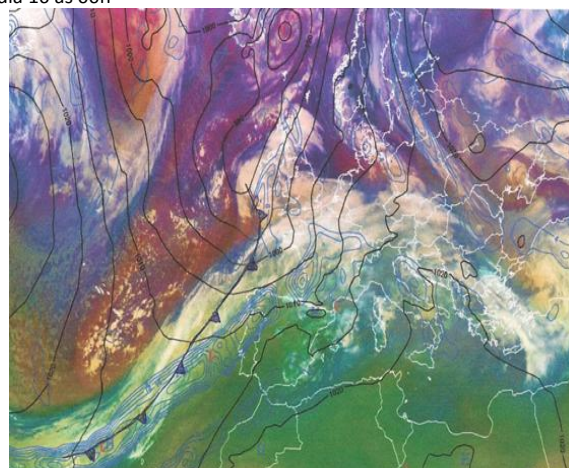
**Fig. A-169:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa (K) + frente fria, dia 16 às 00h



**Fig. A-170:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de temperatura aos 700hPa ( $^{\circ}C/12h$ ) + frente fria, dia 16 às 00h

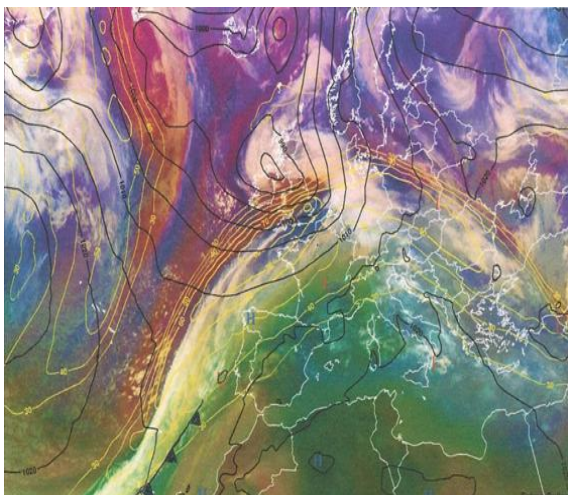


**Fig. A-171:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de vorticidade positiva aos 300hPa ( $\times 10^{-9}/s^2$ ) + frente fria, dia 16 às 00h

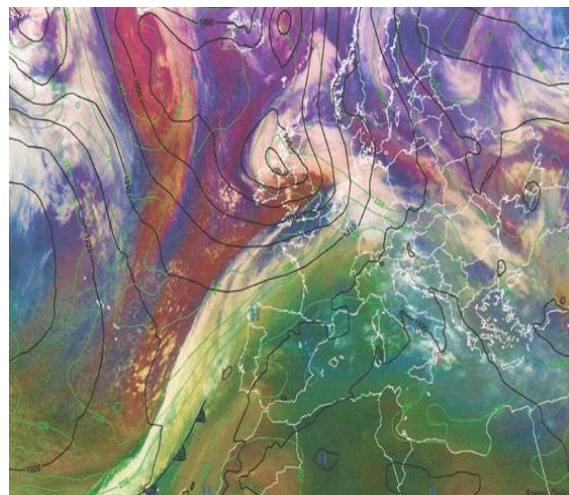


**Fig. A-172:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e os 500hPa ( $^{\circ}C/m^2$ ) + frente fria, dia 16 às 00h

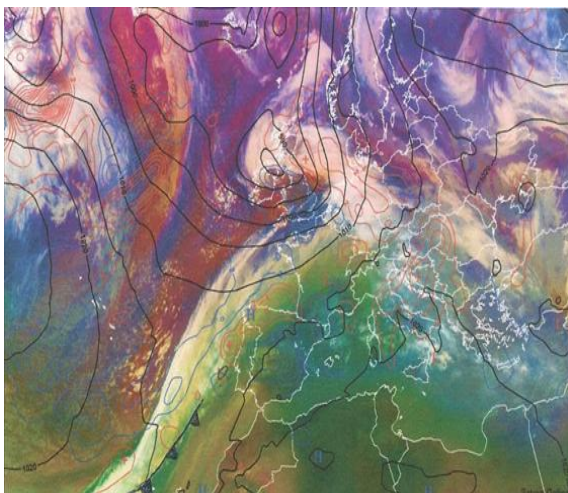




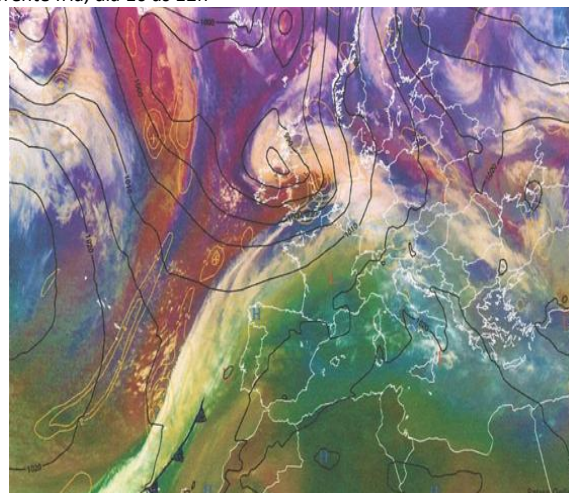
**Fig. A-173:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + isotáxicas (m/s) + frente fria, dia 16 às 12h



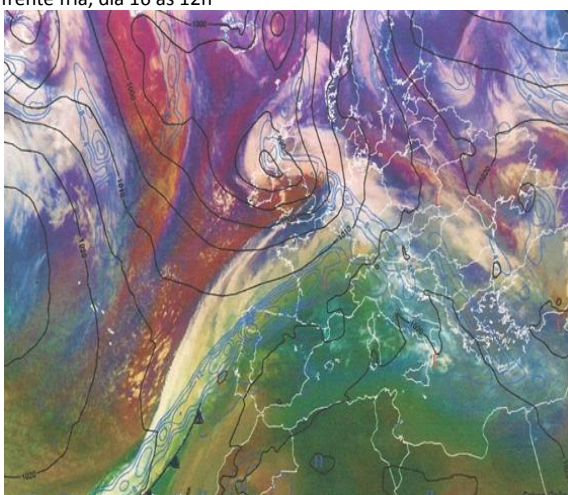
**Fig. A-174:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa (K) + frente fria, dia 16 às 12h



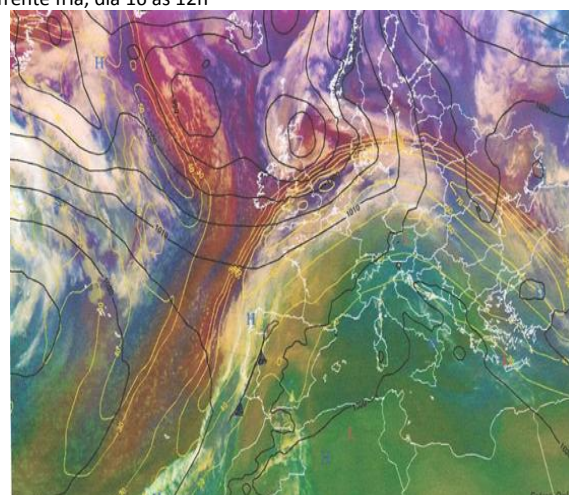
**Fig. A-175:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de temperatura aos 700hPa (°C/12h) + frente fria, dia 16 às 12h



**Fig. A-176:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de vorticidade positiva aos 300hPa ( $\times 10^{-9}/s^2$ ) + frente fria, dia 16 às 12h

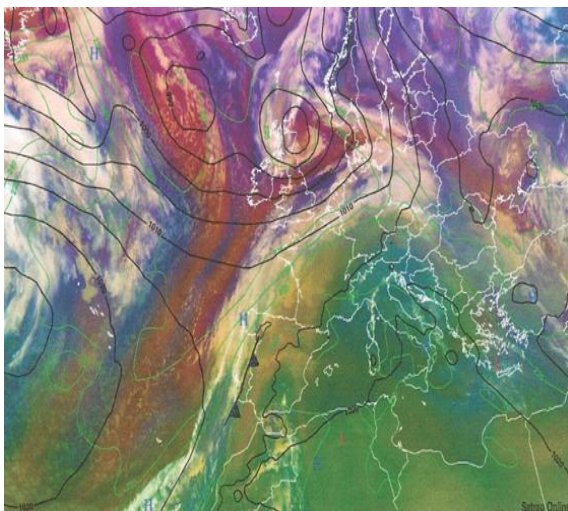


**Fig. A-177:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e os 500hPa (°C/m<sup>2</sup>) + frente fria, dia 16 às 12h

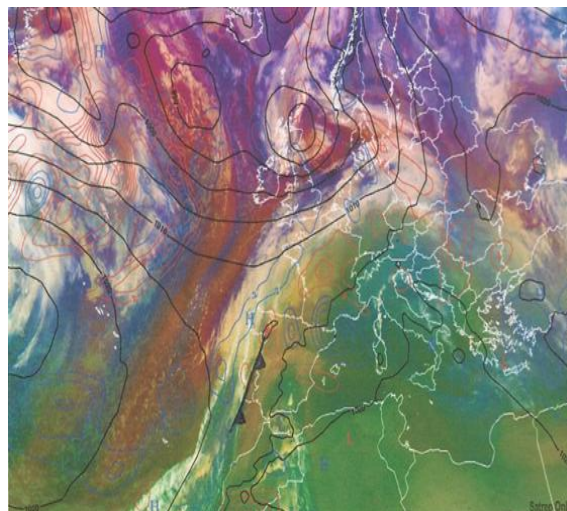


**Fig. A-178:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + isotáxicas (m/s) + frente fria, dia 17 às 00h

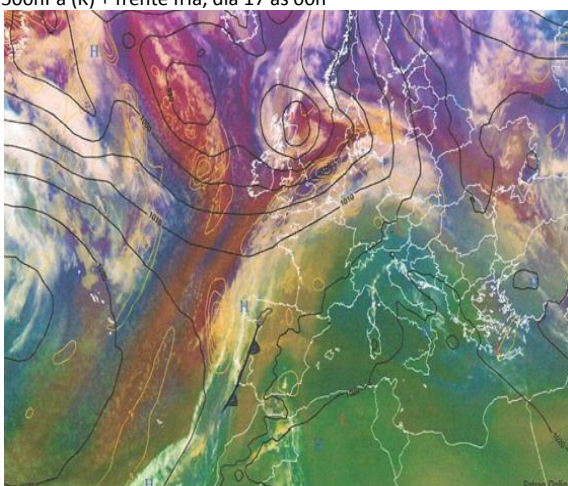




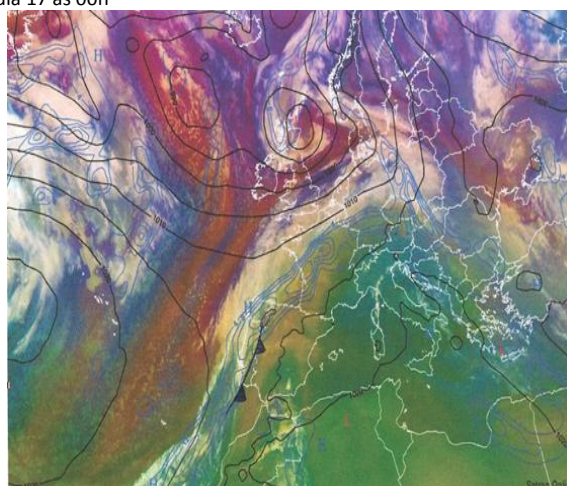
**Fig. A-179:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa (K) + frente fria, dia 17 às 00h



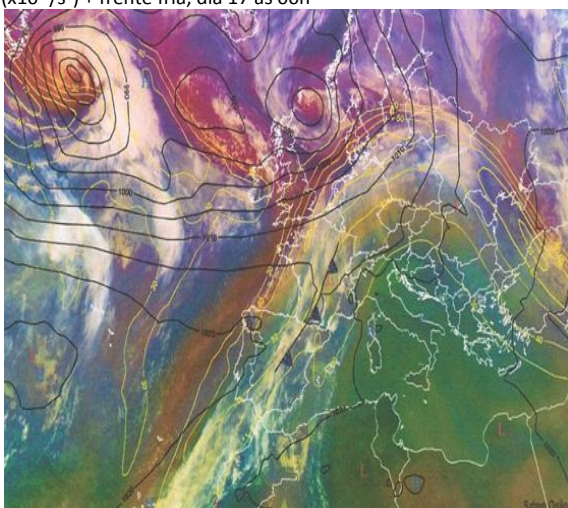
**Fig. A-180:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de temperatura aos 700hPa (°C/12h) + frente fria, dia 17 às 00h



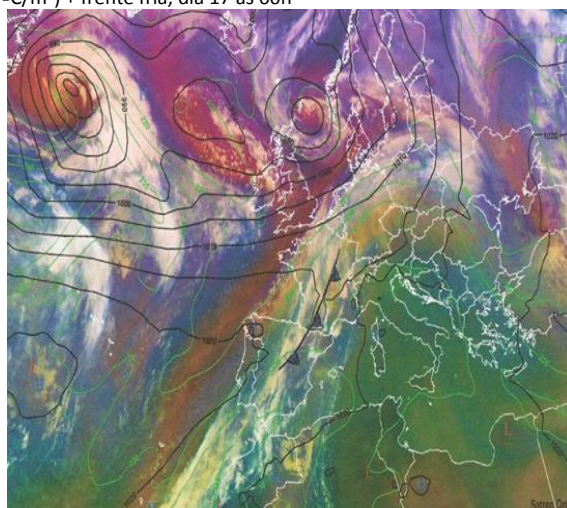
**Fig. A-181:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de vorticidade positiva aos 300hPa ( $\times 10^{-9}/s^2$ ) + frente fria, dia 17 às 00h



**Fig. A-182:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e os 500hPa (°C/m<sup>2</sup>) + frente fria, dia 17 às 00h

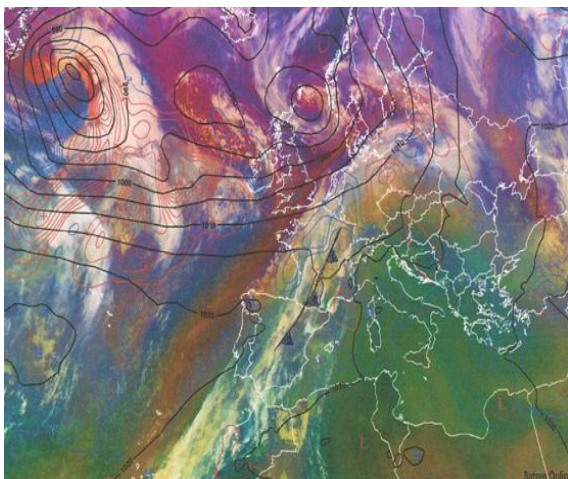


**Fig. A-183:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + isotérmicas (m/s) + frente fria, dia 17 às 12h

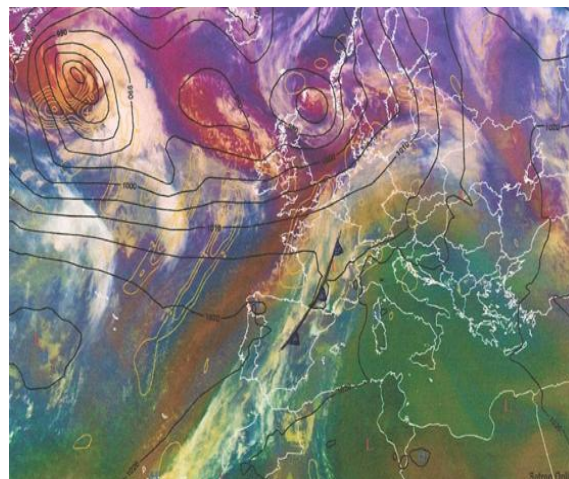


**Fig. A-184:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa (K) + frente fria, dia 17 às 12h

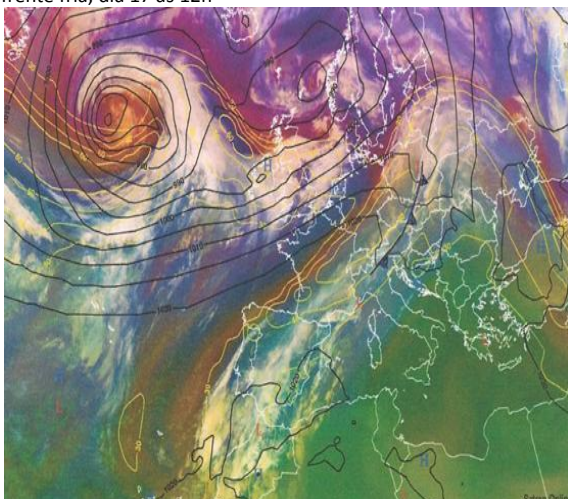




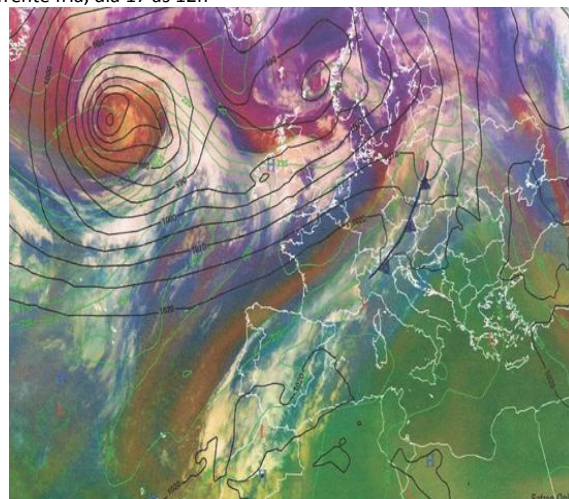
**Fig. A-185:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de temperatura aos 700hPa (°C/12h) + frente fria, dia 17 às 12h



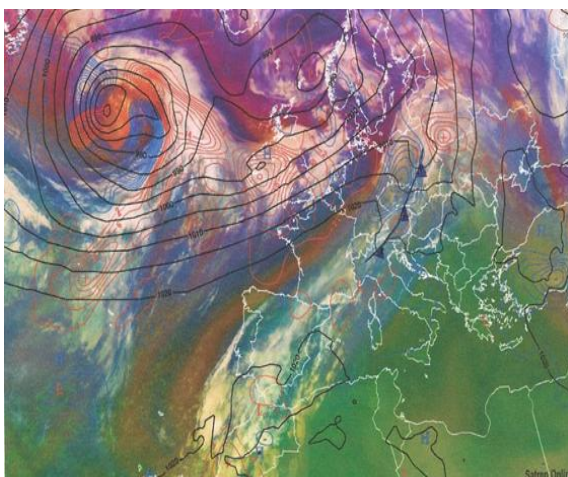
**Fig. A-186:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de vorticidade positiva aos 300hPa ( $\times 10^{-9}/s^2$ ) + frente fria, dia 17 às 12h



**Fig. A-187:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + isotáxicas (m/s) + frente fria, dia 18 às 00h



**Fig. A-188:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + espessura equivalente entre os 850hPa e os 500hPa (K) + frente fria, dia 18 às 00h



**Fig. A-189:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de temperatura aos 700hPa (°C/12h) + frente fria, dia 18 às 00h



**Fig. A-190:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + advecção de vorticidade positiva aos 300hPa ( $\times 10^{-9}/s^2$ ) + frente fria, dia 18 às 00h





**Fig. A-191:** RGB\_massas\_de\_ar + pressão média ao nível do mar (hPa) + parâmetro frontal térmico entre os 850hPa e os 500hPa ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}^2$ ) + frente fria, dia 18 às 00h